Astronomische Ortsbestimmung und Kimmtiefenmessung auf See

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

Philosophischen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Fritz Conrad

aus Schwedt a. d. Oder

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Februar 1933

Tag der Promotion: 31. Mai 1933

Druck: Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Berlin SW68

333

Astronomische Ortsbestimmung und Kimmtiefenmessung auf See

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

Philosophischen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Fritz Conrad

aus Schwedt a. d. Oder

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Februar 1933

Tag der Promotion: 31. Mai 1933

Druck: Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Berlin SW68

Referenten:

Prof. Dr. A. Defant

Prof. Dr. H. v. Ficker

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus: Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven

Berlin 1933

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 7

1. Vorbemerkungen 7
2. Beobachtungszeiträume 8

II. Arbeitsplan, Beobachtungsgerät, Hilfspersonal 10

1. Arbeitsplan 10
2. Instrumentarium, Instrumentalfehler 11
3. Hilfspersonal 13

III. Methoden 14

1. Astronomische Beobachtungen 14
2. Kimmtiefenbeobachtungen 15
   a) Die Beobachtungen selbst 15
   b) Seegangseinfluß 16
   c) Das Eichen der Kimmtiefenmesser, der optische Meßvorgang . . . 17
3. Beobachtungsstände, Augeshöhen 25
4. Meteorologische Beobachtungen 25

IV. Die Kimmtiefen 27

1. Statistische Untersuchung 27
   a) Genauigkeitsprobe 27
   b) Sonnenkimmlage 28
   c) Längsschiffs- und Querkimmlage 30
   d) Kurzabständige Kimmanomalien 30
2. Ausgleichung 31
   a) Historischer Überblick 31
   b) Beobachtungen auf „Hunte“ 33
      α) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle 33
      β) Der günstigste Temperaturgradient 40
      γ) Die mittlere Formel, ihr Temperaturgradient 55
   c) Beobachtungen auf „Adlergrund II“ 57
      α) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle 57
      β) Seegangseinfluß 60
      γ) Der günstigste Temperaturgradient 62
      δ) Das mittlere Temperaturgefälle 62
   d) Vergleich der Ergebnisse beider Schiffe 63
   e) Beziehung zu weiteren meteorologischen Elementen 64
      α) Der tägliche Gang 64
      β) Einfluß des Luftdrucks 65
      γ) Einfluß der Luftfeuchtigkeit 65
      δ) Einfluß von Bewölkung und Färbung 69
3. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Kimmtiefenuntersuchungen . . 71
   a) Zusammenstellung der Formeln 71
   b) Beurteilung 72

Seite

V. Die astronomischen Beobachtungen 76

1. Der terrestrische Schiffsort 76
   a) „Hunte“ 76
      α) Geographische Koordinaten 76
      β) Relative Schiffslage zum Anker 78
      γ) Schiffsbewegungen vor dem Anker 78
   b) „Adlergrund II“ 79
      α) Versuch einer Bestimmung 79
      β) Relative Schiffslage zum Anker 79
2. Das Material, seine Aufbereitung, sein Genauigkeitsgrad 80
   a) Das Material 80
   b) Die Aufbereitung 80
   c) Der relative Genauigkeitsgrad 82
3. Ausgleichung 82
   a) Strenge Formel 82
   b) Verfahren nach Conrad 83
   c) Genauigkeitsuntersuchung 84
      α) Einzeluntersuchung 85
      β) Folgerungen 88
   d) Gewichtsverteilung 89
   e) Ausgleich nach der Methode der kleinsten Quadrate 90
   f) Analytische Darstellung 93
   g) Die Schiffsörter 95
   h) Mittlere Fehler der Gestirnskategorien 96
4. Beziehung der Kimmabstände zu den meteorologischen Elementen . . 98
   a) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle 98
   b) Einfluß des Seegangs 102
   c) Lage der Sonnenkimm 103
   d) Täglicher Gang 104
5. Vergleich der Beobachtung und Berechnung der Kimmtiefen 105
   a) Einfluß der verschiedenartigen Horizontreduktionen 105
   b) Urteil über das Ausgleichverfahren nach Conrad 106

VI. Zusammenfassung 107

1. Hauptpunkte der Untersuchung 107
2. Folgerungen und Ausblicke 108

Literaturverzeichnis 111

Alle Zeitangaben beziehen sich auf **M. E. Z.,** wenn nicht ausdrücklich anders gesagt.

Abkürzungen.

1. K_t = Kimmtiefe.
2. K_r = errechnete Kimmtiefe.
3. K_b = beobachtete Kimmtiefe.
4. K_0 = Sonnenkimmtiefe.
5. K_{bm} = mittlere Kimmtiefe einer Rundmessung ohne K_0
6. t_l = Temperatur der Luft.
7. t_a = Temperatur in Augeshöhe.
8. t_w = Temperatur der Wasseroberfläche („Wassertemperatur").
9. t_o = Temperatur $^1/_2$ m über Wasser („Oberflächentemperatur").
10. t_m = Temperatur der unteren Maststation („Masttemperatur").
11. t_b = Temperatur auf der Back.
12. A. H. = Augeshöhe.
13. E = mittlerer Fehler des Resultates.
14. ε = mittlerer Fehler einer Messung (eines Einzelwertes).
15. f = relative Feuchtigkeit in Prozenten.
16. φ = Breite; λ = Länge.
17. t = Stundenwinkel.
18. h_b = beobachtete Gestirnhöhe.
19. h_r = errechnete Gestirnhöhe.
20. dh = $(h_b - h_r)$.
21. a = Azimut.
22. $d\varphi_0$ = Breitenunterschied des wahren Schiffsortes.
23. $d\lambda_0$ = Längenunterschied des wahren Schiffsortes.
24. S_w = wahrer Schiffsort.
25. S_g = gegißter Schiffsort.
26. dh_0 = Abstand des wahren vom gegißten Schiffsort.
27. dh_K = (Kimmabstand — h_r).
28. dh' = Beschickung auf den wahren Schiffsort.
29. dh_{K0} = $(dh_K - dh')$.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533918_0088

I. Einleitung.

1. Vorbemerkungen.

Bei den Vorarbeiten zu einer Untersuchung über Hochseevermessungen drängte sich die Frage in den Vordergrund, welche Genauigkeit einer astronomischen Ortsbestimmung von Bord aus beizulegen wäre, oder anders gesagt, welcher Grad von Genauigkeit erreicht werden könnte, wenn der Beobachter unter alleiniger Benutzung des üblichen Handwerkszeuges Gestirnhöhen mißt und mit Sorgfalt, aber auf gewöhnliche Art, seine Beobachtungen auswertet. Der Nautiker arbeitet summarisch mit der Faustregel[1]), daß die Gestirnhöhen für seine Ortsbestimmung bei guten Verhältnissen um $\pm 1'$ unsicher sind, und auch für Küstenvermessungen ist die gleiche Fehlergrenze festgesetzt[2]). Eine nähere Begründung für diese Vorschrift wird aber nicht gegeben und findet sich auch sonst nirgends in der nautischen Literatur. Wollte ich nun die Genauigkeitsfragen in selbständiger Untersuchung klären, so mußte ich Ursprungsmaterial zugrunde legen, das vollen Einblick in die Art der Gewinnung, die innere Güte und die meteorologischen Verhältnisse zur Zeit der Beobachtung gestattete. Denn es leuchtet ohne weiteres ein, daß individuelle Eigenschaften des Beobachters und der Plattform, die Art der Messung und die Unentbehrlichkeit eines zweiten Beobachters mit objektiv unwägbarem Gewicht in das Ergebnis einer astronomischen Bordmessung eingehen muß. Da Beobachtungsmaterial, das diesen Anforderungen voll gerecht wurde, nicht erhältlich war, — auch das Nautische Archiv der Marineleitung vermochte nicht zu helfen —, war ich gezwungen, eigene Messungen der Kimmabstände von Gestirnen ins Auge zu fassen. Bestärkt wurde ich darin durch Herrn Prof. Dr. A. Defant, der bei der Bearbeitung von „Meteor"-Material zur gleichen Frage gekommen war. Daß für die Beschickung dieser Höhen auf den wahren Horizont die erforderlichen Kimmtiefen genauestens zu ermitteln waren, unterlag keinem Zweifel, da gerade die sehr veränderliche Lage der Kimm als der Bezugslinie der Höhen einen erheblichen Anteil an der Unsicherheit der astronomischen Ortsbestimmung auf See hat.

---

[1]) L. V. 1, S. 334. — [2]) L. V. 2, S. 317.

Nun hatte die Marineleitung in klarer Erkenntnis dieser Zusammenhänge in den Nachkriegsjahren Kimmbeobachtungen auf Auslandskreuzern und Vermessungsschiffen[1]) durchführen lassen, die zunächst zwar eine gewisse Klarheit über das Kimmtiefenproblem zu geben schienen, aber nicht diejenige Übereinstimmung, vor allem auch im Vergleich mit den Koß-Kohlschütterschen[2]) Arbeiten, zeigten, die es gestattet hätte, sie als Grundlage für eine Genauigkeitsuntersuchung zu nehmen. So gewannen die Kimmtiefenmessungen über das von den Gestirnbeobachtungen geforderte Maß hinaus eine selbständige Bedeutung. Ich entschloß mich, auf Anraten von Herrn Prof. Dr. Wedemeyer, systematische Messungen sowohl der Kimmtiefe selbst wie der Kimmabstände der Gestirne anzustellen, um eine sichere Vergleichsgrundlage zu erhalten.

2. Beobachtungszeiträume.

Nach Bewilligung durch die Marineleitung nahm ich an einer Fahrt des Dampfers „Hunte" der Reichsmarine im August 1931 teil. Die „Hunte" hatte neben anderen ozeanographischen Arbeiten die Aufgabe, Hochseepegel der Marine auszulegen und zu beobachten.

Vor dieser Fahrt bot sich mir die Gelegenheit, mich auf dem Feuerschiff „Adlergrund" für etwa eine Woche einzuschiffen, um Erfahrungen zu sammeln, die Meßgeräte zu erproben und möglichst auch schon neues Beobachtungsmaterial zu beschaffen. Die Ausbeute dieser Zeit an Erfahrungen war reich, an verwendbarem Material aber gering, da die verwendeten Kimmtiefenmesser instrumental nicht einwandfrei funktionierten und der Versuch fehlschlug, einen Sextanten mit Kimmprisma nach Caspar dafür einzuschalten, weil er zuverlässige Messungen nicht zu liefern vermochte[3]).

Die hauptsächlichsten Beobachtungen wurden vom 10. bis 17. August 1931 auf der erwähnten Untersuchungsfahrt des Dampfers „Hunte" ausgeführt, der im Kattegat nördlich des Sundes auf halbem Wege nach Anholt hin zu Anker lag (Abb. 1). Das Beobachtungsmaterial wurde ergänzt in der Zeit vom 19. bis 24. September 1931 durch Messungen auf dem Feuerschiff „Adlergrund", westlich von Bornholm.

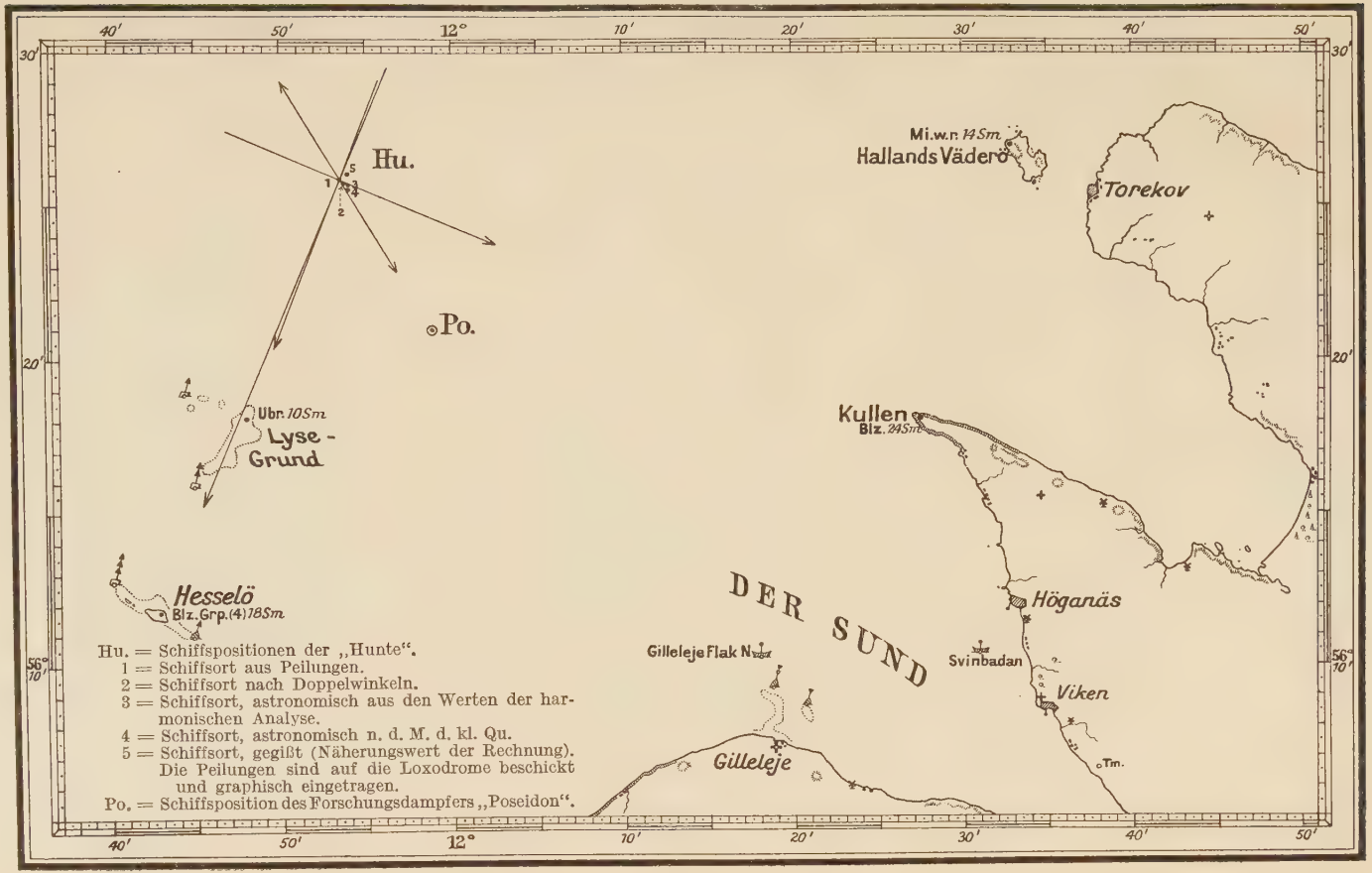
Das gewonnene Material ist gemeinsam bearbeitet worden und wird in den weiteren Ausführungen durch die Bezeichnung „Hunte" und „Adlergrund II" unterschieden werden.

---

[1]) L. V. 3. — [2]) L. V. 4, L. V. 5. — [3]) L. V. 6.

„Hunte“ Übersichtsplan.

Verkleinerter Ausschnitt aus der Seekarte Nr. 183 1 : 150 000. Abb. 1.



Hu. = Schiffspositionen der „Hunte“.
1 = Schiffsort aus Peilungen.
2 = Schiffsort nach Doppelwinkeln.
3 = Schiffsort, astronomisch aus den Werten der harmonischen Analyse.
4 = Schiffsort, astronomisch n. d. M. d. kl. Qu.
5 = Schiffsort, gegißt (Näherungswert der Rechnung).
Die Peilungen sind auf die Loxodrome beschickt und graphisch eingetragen.
Po. = Schiffsposition des Forschungsdampfers „Poseidon“.

II. Arbeitsplan, Beobachtungsgerät, Hilfspersonal.

1. Arbeitsplan.

Der Arbeitsplan war durch das umrissene Endziel vorgezeichnet. Das Gerippe bildeten die am meisten vom Wetter abhängigen astronomischen Beobachtungen, die gleichmäßig ohne Rücksicht auf Gestirnhöhe und Azimutdifferenzen in azimutal möglichst engen Grenzen über den Tag und den Horizont zu verteilen waren. Bei der Auswahl der Augeshöhen durften auch niedrige Standpunkte nicht fehlen.

Kimmtiefen sollten natürlich stets in zeitlicher Nachbarschaft der Gestirnhöhen gemessen werden, aber auch dann, wenn die Wetterlage astronomische Beobachtung verbot. Kurzabständige Kimmtiefenreihen vervollständigten den Plan.

Die meteorologischen Elemente waren unter zeitlicher Anlehnung an beide Beobachtungsarten in verschiedenen Höhen über Wasser zu ermitteln, damit für die Beobachtungszeiten senkrechte Temperaturgradienten von der Wasseroberfläche bis zum Mast hinauf möglichst vollständig abgeleitet und der sonstige Witterungsablauf verfolgt werden konnte. Terminmäßige Anordnung war anzustreben.

Aus diesen allgemeinen Richtlinien ergaben sich für die astronomischen und für die Kimmtiefenmessungen folgende Beobachtungszeiten:

In der Dämmerung, kurz nach Sonnenaufgang, in der Zwischenzeit bis 8^h, 8^h, 10^h, 12^h, 14^h, 16^h, 18^h, kurz vor Sonnenuntergang und in der Dämmerung.

Als feste Termine für die meteorologischen Beobachtungen waren außer den für die Höhen und Kimmtiefen erforderlichen Einzelmessungen vorgesehen:

4^h, 8^h, 10^h, 14^h, 16^h, 19^h; Beobachtungszeiten mit kleineren Intervallen erlaubten weder die Zeit noch das zur Verfügung stehende Personal. Aber auch so gestatteten diese Beobachtungen, den allgemeinen Witterungsablauf hinreichend zuverlässig zu verfolgen, zumal außerdem die Registrierapparate für Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit in meteorologischen Hütten auf der Peilbrücke, Brücke und im Mast laufende Aufzeichnungen der betreffenden Elemente gaben. Bei abnormem Wetterablauf und Störungen waren, soweit angängig, Sonderbeobachtungen einzulegen.

Dieser Plan hat sich ohne erhebliche Reibungen und Lücken abwickeln lassen.

2. Instrumentarium, Instrumentalfehler.

Zur Durchführung des Planes standen zur Verfügung:

1. drei Sextanten M 714, 724 und Bamberg 3023,
2. je ein Marine-Chronometer guter Klasse auf „Hunte“ und „Adlergrund II“,
3. auf „Hunte“ ein Beobachtungschronometer,
4. eine Marinebeobachtungsuhr,
5. die beiden Kimmtiefenmesser System Zeiß-Pulfr. Nr. 5120 und 12 147,
6. 2 Aßmannsche Aspirationspsychrometer,
7. 2 Aspiratoren von Fueß nach Aßmann,
8. ein Richtersches Kippthermometer für Lufttemperatur nach Böhnecke (Aßmannsches Aspirationspsychrometer),
9. 2 Oberflächenthermometer für Wassertemperatur,
10. ein Fueß-Handanemometer,
11. ein Barograph auf „Hunte“ und
12. ein Quecksilberbarometer auf „Adlergrund II“.

Hierzu ist zu sagen:

Bis auf eine verschwindend geringe Zahl von Höhen habe ich für alle Gestirnmessungen allein den Sextanten Bamberg 3023 benutzt, den gleichen, den ich schon auf „Adlergrund I“ erprobt hatte. Dieses Gerät vereinigt in sich alle guten Eigenschaften eines Winkelmeßgerätes. Es ist stabil gebaut, aus stärkerem Rotguß als üblich, da es für die Zwischenschaltung eines Casparschen Kimmprismas eingerichtet ist, das übrigens nicht benutzt worden ist. Der Sextant entstammte dem Instrumentarium der nautischen Abteilung der Marineleitung und war noch wenig gebraucht. Alle Sextanten hatten Lupenablesung.

Die Instrumentalfehler der Fernrohrachse und Spiegelflächen wurden schon an Land sorgfältig bestimmt und, soweit angängig, beseitigt. Der Exzentrizitätsfehler konnte einer dem Instrument beigegebenen Tabelle entnommen werden; er erreichte erst mit einer Winkelgröße von 50° den Wert eines Sextantenteils von 10″; laufende Kontrolle der Spiegelstellung und Nachprüfung der Lage der Fernrohrachse nach den einzelnen Untersuchungszeiten gab hinreichende Sicherheit.

Der Indexfehler wurde vor oder nach jeder Messung mit Hilfe der Sonne, eines Sternes und stets auch über die Kimm an verschiedenen Teilen des Horizontes in seiner Größe festgelegt. Wenngleich er ziem-

lich beträchtlich war, wurde an ihm nichts geändert, um ihn besser unter Kontrolle behalten zu können. Dabei stellte es sich heraus, daß die Blendgläser als planparallel angenommen werden konnten. Der stabile Bau des Sextanten geht daraus hervor, daß im Verlauf der beiden Beobachtungszeiten ein praktisch erheblicher Indexgang mit der Temperatur nicht nachweisbar war. Unterschiede von ins Gewicht fallendem Ausmaß traten ausnahmslos bei hintereinander vorgenommener Indexbestimmung auf, sobald in verschiedenem Azimut gemessen wurde, ein deutlicher Beweis dafür, daß die Unterschiede nur scheinbare waren und von verschiedenartiger Kimmauffassung herrührten. Man war also berechtigt, derartige Beträge, als nur mit zufälligen Fehlern behaftet, zu mitteln. Man erzielte dann stets einen dem mittleren Indexbetrag eng benachbarten Wert. Die ursprünglichen Ausschläge hielten sich innerhalb erträglicher Grenzen, im Maximum 20″ bis 25″, so daß die Abweichungen vom Mittel stets nahe an die Meßschärfe des Sextanten herankamen oder unter dieser blieben. Den Gang des Indexfehlers, wie er sich aus den Tagesmitteln ergab, zeigt nachstehende Zusammenstellung:

„Hunte“		„Adlergrund II“	
Kimm	Sonne	Kimm	Sonne
— 12′ 05″	— 12′ 15″	— 12′ 15″	— 12′ 20″
— 11′ 50″	— 12′ 00″	— 12′ 10″	— 12′ 01″
— 12′ 07″	— 12′ 20″	— 12′ 17″	— 12′ 12″
— 12′ 14″	— 12′ 10″	— 12′ 20″	— 12′ 05″
— 12′ 20″	— 12′ 08″	— 12′ 10″	— 12′ 18″
— 12′ 21″	— 12′ 20″	— 12′ 17″	— 12′ 18″
— 12′ 22″	— 12′ 20″		

Die Chronometer liefen ohne Tadel; ihr täglicher Gang schwankte auf „Hunte“ zwischen den Werten + 0ˢ.5 und + 1ˢ.7, auf „Adlergrund II“ zwischen — 1ˢ.0 und — 1ˢ.5, schädliche Sprünge traten nicht auf. Daß bei Transport und Wartung besonders große Sorgfalt waltete, ist selbstverständlich. Auch die Beobachtungsuhren und das Kontaktchronometer gingen regelmäßig, sie wurden nur als Beobachtungszeitmesser verwandt. Die Stände wurden täglich einmal, gelegentlich zweimal nach dem Nauener Zeitsignal nachgeprüft.

Die Kimmtiefenmesser besaßen Trommelablesung ohne Meßskala im Gesichtsfeld mit einer Ablesegenauigkeit von 0′.1. Sie waren vor der Ausreise bei der Firma Zeiß neu aufbereitet und adjustiert worden. Da die Geräte von der Fabrik unmittelbar an Bord versandt werden mußten, war es nicht möglich, sie vorher zu prüfen.

Dies wurde im Anschluß an die „Hunte"-Fahrt nachgeholt. Da die beiden Kimmtiefenmesser zu Wasser unter besonderer Obhut des Kapitäns nach Swinemünde befördert — die Überführung von „Hunte" an das Arsenal Kiel hatte ich persönlich besorgt — und Landtransporte mit Kraftwagen vorgenommen wurden, unterliegt es keinerlei Zweifel, daß sie bei den Prüfungsmessungen, die ich am Strand von Swinemünde vornahm, die gleichen Eigenschaften besaßen wie zur Zeit der Beobachtungen auf „Hunte" und auf „Adlergrund II".

Über die Eichungen und die Folgerungen daraus siehe Seite 17.

Das meteorologische Instrumentarium ist, soweit es sich um Temperaturmessungen handelt, durch längere Vergleichsbeobachtungen während aller drei Beobachtungsperioden miteinander verglichen worden, mit dem Ergebnis, daß nur dort ganz geringfügige Korrekturen anzubringen waren, wo es bereits im Prüfschein der Firma bzw. der Physikalisch-technischen Reichsanstalt vermerkt worden war. Die größte in Frage kommende Verbesserung betrug 0°.03 beim Kippthermometer. Soweit erforderlich, sind die Verbesserungen berücksichtigt worden, selbst wenn ihr Betrag innerhalb der Ablesefehler lag, um jede Summierung von Fehlergrößen unmöglich zu machen.

Der Barograph stand an Bord der „Hunte" auf der Brücke etwa 5.5 m über der Wasseroberfläche. Seine Angaben sind mit Hilfe der gleichzeitigen synoptischen Werte des Beobachtungsgebietes, die ich dem Berliner Meteorologischen Institut verdanke, reduziert worden. Trotzdem halte ich ihre Genauigkeit für nicht sehr groß. Für Beobachtungen, bei denen nur Relativwerte eine Rolle spielen, sind sie aber immerhin brauchbar. Die Angaben des Quecksilberbarometers des Feuerschiffs sind auf die Wasseroberfläche bezogen.

3. Hilfspersonal.

Als Hilfskraft war mir auf „Hunte" ein Seekapitän des Marinearsenals Kiel (Schiffer auf große Fahrt) beigegeben. Durch Vergleichsbeobachtungen stellte ich die allgemeine Zuverlässigkeit seiner Messungen fest. Als Kontrolle waren mir seine Beobachtungen unentbehrlich, wenngleich für unsere schärferen Bedingungen seine praktische Beobachtungserfahrung nicht immer hinreichte. Ein Teil seiner Kimmtiefenmessungen, mit denen er gegen Schluß der Periode recht gut vertraut war, konnte unmittelbar Verwendung finden.

Auf „Adlergrund II" wurde ich in erster Linie vom Schiffskapitän, einem alterprobten Segelschiffsführer, unterstützt; außerdem stand mir ein Steuermann auf kleine Fahrt zur Verfügung.

Es wurde peinlichst darauf gesehen, daß die Uhr stets von demselben Matrosen bedient wurde. Trotz des großen Bedarfs an Schiffspersonal für die ozeanographischen Arbeiten wurde mir für die meteorologischen Terminbeobachtungen auf „Hunte" eine kleine Sondergruppe durch Entgegenkommen des ozeanographischen Leiters Herrn Dr. Böhnecke bereitwilligst überlassen.

III. Methoden.

Grundsätzlich sollten nur solche Methoden Verwendung finden und sollte die Genauigkeit nur so weit getrieben werden, daß sie auf die Praxis der Vermessung und der wissenschaftlichen Nautik übertragen werden konnten. Es war beabsichtigt, von dieser Regel erst dann abzuweichen, wenn es zur klareren Erkenntnis der Erscheinungen, aus denen dann praktische Folgerungen zu ziehen waren, nicht zu umgehen war. Innerhalb dieses selbstgesteckten Rahmens allerdings hatte größte Sorgfalt zu walten.

Ganz allgemein sollte demnach als oberster Grundsatz gelten: Maßstab soll sein die jeweilige Meßschärfe, wie sie billigerweise vom Gerät verlangt und erwartet werden darf.

1. Astronomische Beobachtungen.

Die astronomischen Beobachtungen mit dem Sextanten wurden von mir selbst durchgeführt; ein zuverlässiger Mann nahm auf Zuruf die Zeit, den Sextanten las ich auf die vollen 10″ ab, die Zeit wurde auf halbe Sekunden genommen. Hiermit war der übliche Genauigkeitsgrad praktischer Messung schon um ein geringes überschritten. Der Sextant leistet theoretisch zwar noch etwas mehr; bei höherer Ableseschärfe spielen aber schon die unvermeidlichen Fehler der Einteilung und die äußeren Umstände, wie Beleuchtung und Bewegungen der Plattform, eine Rolle. Eine vollständige Messung bestand aus einer kurzabständigen Höhenserie. Der Praktiker bevorzugt oft die Einzelhöhe, auch die Navigationshandbücher empfehlen Reihenbeobachtungen im allgemeinen nicht und beschränken sie auf unsichtiges Wetter und unsichere Kimmverhältnisse[1]). Einer der Gründe hierfür ist die Tatsache, daß systematische Fehler, die z. B. in der Kimm liegen, auch von einer Höhenserie nicht berührt werden, ein anderer die psychologische Wahr-

[1]) L. V. 7, S. 129, L. V. 8, S. 83.

scheinlichkeit, daß der Beobachter eine Höhe schärfer auf die Kimm setzt als eine ganze Höhenfamilie.

Den psychologischen Gegengrund glaubte ich von vornherein ausschalten zu dürfen. Dann ist aber eine Reihe in der größten Mehrzahl der Fälle der Einzelhöhe überlegen, wenn auch zugegeben wird, daß diese besser sein kann. Man darf nicht vergessen, daß eine Messung nur zum Teil vom Hauptbeobachter allein abhängt und daß Ablesefehler gar nicht so selten sind, selbst bei größter Vorsicht nicht. Sternbeobachtungen kamen natürlich mehrfach nicht über 1 bis 2 Einzelglieder hinaus.

Ausgezeichnete Dienste für Vorausberechnung und Namenbestimmung leistete die Kohlschüttersche Meßkarte, Berlin 1905.

2. Kimmtiefenbeobachtungen.

a) Die Beobachtungen selbst.

Die Kimmtiefen wurden von mir in Serien zu sechs Einzeleinstellungen gemessen. Hierbei fielen auf die positive Lage drei und auf die negative Lage (um 180° um das Fernrohr gedreht) ebenfalls drei Einzelwerte. Diese Anordnung hat sich nach den Berichten aller letztjährigen Beobachter gut bewährt, was auch ich bestätigen kann.

Der Nullpunkt ist dann gleich der halben Summe der Mittel jeder Lage und die Kimmtiefe selbst gleich ihrer halben Differenz.

Frühere Beobachtungen hatten die Vermutung[1]) aufkommen lassen, daß die Kimmtiefe je nach ihrer Lage zum Sonnenazimut und zur Mitschiffsrichtung variiere. Übereinstimmung bestand darin aber nicht. Deshalb mußte der Versuch zur Klärung der Frage gemacht werden, da die Sonnenhöhen über der Sonnenkimm gemessen werden, die Ortsbestimmung also an und für sich die Verwendung derselben Kimm zur Reduktion auf den Horizont fordert. Deshalb bezog ich in jede normale Kimmtiefenmessung ein: Sonnenkimm, Kimm 90° davon entfernt, je eine Kimm dazwischen. Die Schiffsrichtung sollte, was stets ohne Zwang erreicht wurde, mit diesen Kimmtiefen so verbunden werden, daß sich eine Längsschiffs- und Querschiffskimm ergab. Demnach gehörten zu einer vollen Kimmtiefenbestimmung: 4 mal 6 = 24 Einstellungen des Geräts.

Auch die Kimmtiefen habe ich selbst gemessen. Die Messung besteht darin, daß die Spiegelbilder zweier gegenüberstehender Kimmen (Kimm, Gegenkimm) zur Deckung gebracht werden[2]). Im Blickfeld er-

[1]) L. V. 3, S. 9, 10, 22. — [2]) L. V. 9, S. 31, und L. V. 10, S. 227.

scheinen die Kimmbilder als senkrechte Linien. Es lassen sich die Kimmen sehr scharf zusammenbringen, wenn die Umstände günstig sind. Das Bild ändert sich aber, sobald sich das Schiff bewegt. Da eine Vorbedingung für die Messung darin besteht, daß die Fernrohrachse selbst waagerecht liegt, — im anderen Falle bilden die Kimmen einen Schnittwinkel —, so findet man nur dann eine genügend lange Zeitspanne mit stabilen Bildverhältnissen, wenn man die Rollbewegung des Schiffes im entgegengesetzten Sinne mitmacht. Man gewöhnt sich mit der Zeit daran; es war aber nötig, auf diese Schwierigkeit hinzuweisen. Nach meiner Auffassung ist sie einer der Gründe, warum sich der sonst so handliche Apparat in der Praxis meines Wissens nach nicht hat einbürgern können. Ein erfahrener Navigateur bestätigte mir dies. Die Kimmbilder sind schwach gekrümmt[1]), sie erscheinen zwar im allgemeinen als gerade Linien; gelegentlich macht sich dagegen diese Krümmung, die sich im Auge sogar zur schwach gebrochenen Geraden ausbilden kann, bei der Messung störend bemerkbar. Schließlich wäre noch über den Gebrauch der Blende, die es gestattet, das eine Fenster abzublenden, zu sagen, daß es meist besser ist, sich um 180° um die eigene Achse zu drehen als abzublenden; soll nämlich das Abblenden wirksam sein, muß man das Blickfeld beträchtlich einengen, so daß von der abgeblendeten Kimm nur ein kleines Stück sichtbar bleibt und die Kimmen schlecht zur Berührung gebracht werden können. Gleiche Erfahrung hat Immler[2]) gemacht.

b) Seegangseinfluß.

Welch großen Einfluß auf die Kimmtiefenbeträge der Seegang haben kann, zeigt nachstehende Tabelle, die für die benutzten Augeshöhen die erforderliche Seegangverbesserung gibt.

Halbe Seegangshöhe	Hebung der Kimm bei Augeshöhe von			
	7.6 m	5.6 m	3.3 m	2.7 m
0.1 m	1 9″	2.2″	3.0″	3.5″
0.2 m	3 8″	4.4″	6.0″	6.6″
0.3 m	5.7″	6.6″	9.0″	9.9″
0.4 m	7.6″	8.8″	12.0″	13.2″
0.5 m	9.5″	11.0″	15.0″	16.5″
0.6 m	11.4″	13.2″	18.0″	19.8″
0.7 m	13.3″	15.4″	21.0″	23.1″
0.8 m	15.2″	17.6″	24.0″	26.4″
0.9 m	17.1″	19.8″	27.0″	29.7″
1.0 m	19.4″	22.0″	30.0″	35.0″
1.5 m	28.9″	33.0″	45.0″	49.5″
2.0 m	38.8″	44.0″	60.0″	66.0″

[1]) L. V. 10, S. 227. — [2]) L. V. 6, S. 221.

Die Erfahrungen bei den Kimmtiefenbeobachtungen in Veradulla hatten schon Koß veranlaßt, an Tagen mit stärkerem Seegang nicht zu beobachten. Sonst brachte er nach Schätzung der Wellenhöhen eine Seegangverbesserung an. Den Seegang von Bord aus auf einige Dezimeter genau zu beobachten, ist mit Sicherheit jedoch nicht möglich. Es wurde deswegen darauf verzichtet, die Kimmtiefen, die bei starkem Seegang gewonnen waren, auf ungestörte Kimm zu beschicken. Statt dessen wurden alle in diesem Sinne verfälschten Kimmtiefen gesondert behandelt. Hierfür kamen nur einige Reihen auf „Adlergrund II" in Betracht. Da der Beobachter dem Seegang mit dem laufenden Wechselspiel zwischen Berg und Tal dadurch Rechnung trägt, daß er die Unebenheiten auszugleichen trachtet, bleibt nur bei stärkerem Seegang ein Seegangrest übrig, während sonst der Seegangeinfluß in einer mehr oder weniger großen Beeinflussung der zufälligen Fehler besteht.

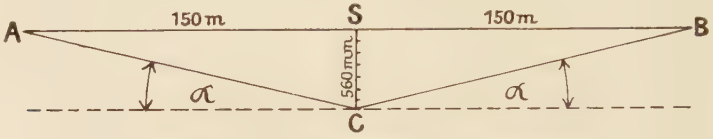
c) Das Eichen der Kimmtiefenmesser, der optische Meßvorgang.

Trotzdem die Kimmtiefenmesser in der Fabrik adjustiert worden waren, hielt ich es für unerläßlich, die tatsächlichen Werte der Skalenteile auf der Meßtrommel einwandfrei zu bestimmen, da diese sich mit einer Verlagerung der Spiegelachsen verändern mußten, wie es vor allem bei Transporten oder infolge sonstiger äußerer Einwirkungen leicht eintreten konnte (siehe auch S. 13). Die Nachprüfung hatte sich über den ganzen Bereich der zu erwartenden Kimmtiefengrößen zu erstrecken. Besonderes Augenmerk war der von Thorade gefundenen Nullpunktswanderung[1]) zu schenken. Das Abbild eines Kimmpaares wurde am Swinemünder Strand geschaffen, indem an möglichst dünenungestörter Stelle eine genau 300 m lange Basisstrecke abgesteckt und 2 Distanzlatten auf den Endpunkten eingefluchtet wurden. Dann wurde mit dem zu prüfenden Kimmtiefenmesser bei lotrechter Lage der Fernrohrachse in der Mitte und, senkrecht zur Basisrichtung bis zur Grenze des Meßbereichs und wieder zurück bis zur Mitte fortschreitend, von 10 cm zu 10 cm die Abweichung des Winkels zwischen den Latten gegen 180° — also die Kimmtiefe — gemessen (Abb. 2). So erhielt ich zwei unabhängige Reihen von Kimmtiefen mit 6 Einstellungen in der Haltung + und —; Anfangs- und Endwert mußten in großer Annäherung übereinstimmen, wenn die Meßreihen brauchbar sein sollten. Die

[1]) L. V. 3, S. 19.

gemessenen Kimmtiefen wurden mit den errechneten Werten verglichen, nachdem diese um den Zielachsenfehler des Zeißschen Theodoliten, mit dem von der Mitte aus eingefluchtet worden war, verbessert waren.

Abb. 2.

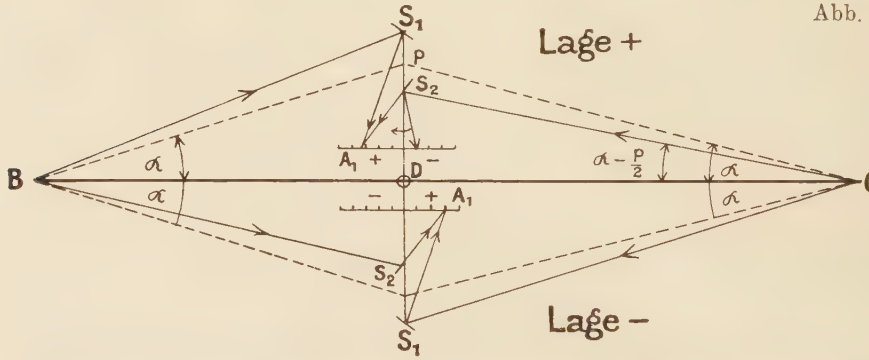


Eichung der Kimmtiefenmesser, Situationsplan.

A B = Abgesteckte Meßbasis, A, B = Distanzlatten, S = Theodolitstand und Nullage,
C = Äußerste Meßstelle, α = Gemessener Winkel.
Die Kimmtiefenmesser wurden längs S C verschoben.

Da bei der Kürze der Basis schon geringe, ungewollte Verschiebungen der Instrumentenlage die zugehörige Kimmtiefenmessung merklich beeinflussen mußten, wurde behelfsmäßig ein handliches Holzgestell angefertigt, dessen Messingbacken das Gerät aufnahmen. Ein spitzer

Abb. 3.



Kimmtiefenmessung. Meßvorgang bei der Eichung mit einem Meßgestell.
B C = 300 m lange Meßbasis, D = Dorn des Meßgestells,
S_1 = Festes Prisma, S_2 = Drehbares Prisma,
P = Abstand der Spiegelflächen, α = Wahrer „Kimmtiefenwert".
A_1 = Ablesung auf der Trommel,

Dorn in der Mitte seines Fußes wurde auf die Marke des Meßtisches gesetzt. Um ihn herum bewegten sich nun die Messungen in beiden Lagen. Dadurch waren die Verhältnisse der Abbildung 3 geschaffen.

Das drehbare Prisma muß um einen Winkel gedreht werden, der der Summe des halben Einfallwinkels seines Kimmstrahles und des halben Einfallwinkels des im festen Prisma gebrochenen Gegenkimm-

strahls entspricht, vermehrt um die halbe Parallaxe des Prismenabstandes p. Denn es beträgt die Schwenkung des Strahls in der Lage +

$$\left(\alpha - \frac{p}{2}\right) + \left(\alpha + \frac{p}{2}\right) + p = 2\alpha + p, \text{ also}$$

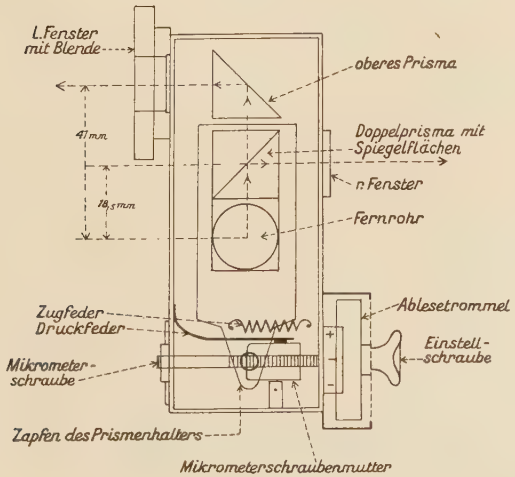
die Drehung des Prismas: $\alpha + \frac{p}{2}$.

Wird nun das Gerät um 180° in die Lage — gedreht, so wird der Bildpunkt nicht geändert, die Ablesung bleibt die gleiche: Die Kimmtiefe ist gleich derjenigen des Dorns; in Abbildung $3 = 0$. Dagegen entspricht eine andere Stelle der Meßskala als vorher dem Nullpunkt: Der Nullpunkt ist scheinbar gewandert. Die hier auftretende Parallaxe ist eine Funktion des Abstandes von der Basis, sie ändert sich aber bei den gegebenen Abmessungen bis zu einer Höchstkimmtiefe von 12′ nur um 0′.01, so daß ich sie als konstant ansehen konnte.

Abstand der Spiegel . . . . . $= 22.5$ mm $= p$ (Abb. 4),
Abstand des Dorns vom Winkelspiegel $= 22.0$ mm, also ist der
Abstand des Dorns von Mitte System $= 22.0 + 11.2 = 33$ mm $= \alpha$,

$$\widehat{\alpha} + \frac{\widehat{p}}{2} = 44 \text{ mm}.$$

Kimmtiefenmesser Abb. 4.
(nach Pulfrich)



nach Leutnant a. D. Martini.

Bei einer halben Basislänge von 150 m muß sich demnach der Nullpunkt gegen die Bordmessungen um 1′.01 verlagern. Die Eichung ergab für

Pulfrich, Nr. 5120, einen Unterschied der Nullpunktlage gegen diejenige auf „Hunte“ von — 1′.03, für Pulfrich, Nr. 12 147, einen solchen von — 0′.96: gegen den „Hunte“-Wert von — 1′.29 wanderte der Nullpunkt bei jenem Gerät auf — 0′.26 und bei diesem von + 0′.89 auf + 1′.85.

Bei den späteren Beobachtungen auf „Adlergrund II“ gingen die Nullpunkte wieder auf — 1′.13 bzw. auf + 0′.96 zurück und blieben konstant. Daß sich für beide Geräte ein kleiner positiver Sprung zeigt, kann seinen Grund in den thermisch gegen „Hunte“ verschiedenen Witterungsverhältnissen haben; es ist auch nicht ausgeschlossen, daß es sich um eine zufällige Erscheinung handelt, weil sich die Mittel nicht auf eine gleiche Zahl von Beobachtungen stützen.

Als wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung steht fest, daß die Meßanordnung der Eichung in der Tat die richtigen Kimmtiefen lieferte und daß die Nullpunktlage der Eichung nicht ohne weiteres mit derjenigen der Bordmessungen vergleichbar ist.

Schon bei einer Augeshöhe von 0.5 m — Entfernung der Kimm = 1.5 Sm — übt der Prismenabstand keinen Einfluß mehr aus, indem $\alpha + \frac{p}{2} = 0'.05$ wird. Übrigens treten genau die gleichen Erscheinungen auf, wenn sich die Mitte des Prismenabstandes über der Meßmarke befindet, mit der einzigen Abweichung, daß die Nullpunktverlagerung nur vom Prismenabstand abhängt[1]) (vgl. S. 24).

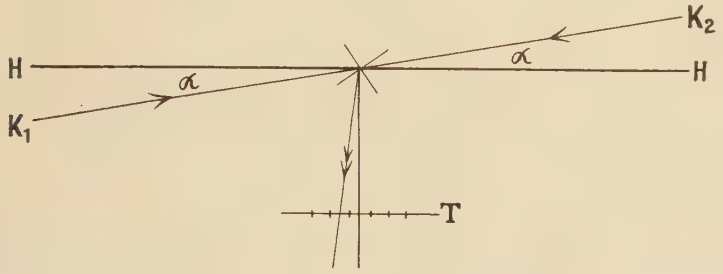
Zum besseren Verständnis der Eichungsergebnisse muß man Klarheit über die optisch-technischen Verhältnisse im Instrument während des Meßaktes gewinnen. Solange die Messung auf einem festmontierten Spiegelsystem mit Skalenablesung im Okular beruht und solange die Kimmpaare zueinander normal liegen, ist der Vorgang klar (Pulfrich, a. a. O.). Abbildung 5 zeigt dagegen einen Zustand, in dem die eine Kimm um den gleichen Betrag über den Horizont gehoben erscheint, um den die andere unter ihm liegt. Man erkennt leicht, daß die Kimmtiefe den Wert Null annimmt, während der Nullpunkt verschoben ist. Ähnliche Verhältnisse treten bei jeder anderen Lage des Kimmpaares ein; gemessen wird die halbe Summe der Einzelkimmtiefen, der Nullpunkt wandert nach der Seite des größeren Kimmbetrages. Diese Bewegung wird an der Skala erkannt.

Wenn dagegen, wie in unserem Fall, das Spiegelpaar getrennt und der eine Spiegel als drehbares Winkelprisma ausgebildet ist, wird auf

[1]) L. V. 3, S. 19.

einer Meßtrommel die Spiegeldrehung gemessen, also der halbe Betrag, um den das Winkelprisma seinen Kimmstrahl schwenkt. Hat man das Kimmpaar zur Deckung gebracht und dreht das Gerät in die Lage —, so sieht man die Kimm um den vierfachen Betrag

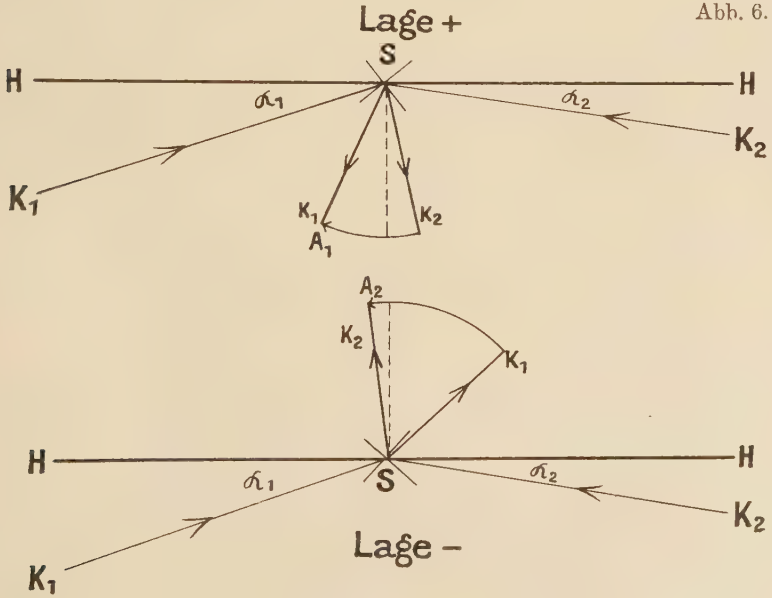
Abb. 5.



K_1, K_2 = Kimmstrahlen, H = Horizont, α = Kimmtiefe, T = Meßskala.

der Kimmtiefen voneinander entfernt, so daß der bewegliche Kimmstrahl um dieses Maß gegen die Sonne zurückgeschwenkt werden muß, um die Messung zu vollenden. Der Spiegel dreht sich dabei nur um den halben Wert der Schwenkung, und dasselbe zeigt die Meßtrommel an. Dies ändert sich auch nicht, wenn das Kimmpaar aus ungleichartigen Gliedern besteht. Was geschieht aber hierbei mit dem Nullpunkt? (Abb. 6).

Abb. 6.



H = Horizont, K_1, K_2 = Kimmstrahlen, S = Prismensystem, ein Prisma drehbar, α_1, α_2 = Kimm- und Gegenkimmtiefe. Ablesung = A_1 und A_2.

Lage + ergibt eine Prismendrehung „mit der Sonne“:

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \text{Trommelablesung} = A_1$$

und Lage — eine Drehung um $\alpha_1 + \alpha_2$ „gegen die Sonne“, demnach eine Ablesung $A_2 = -\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$.

So erhalten wir:

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \\ A_2 &= -\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &\text{Nullpunktslage} = 0, \\ &\text{Kimmtiefe} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}. \end{aligned}$$

Man erkennt daraus, daß, sobald der eine Spiegel drehbar ist, die Lage des Nullpunktes auf der Meßtrommel stets erhalten bleibt, wenn nicht mechanische Einflüsse den Trommelsitz auf der Achse ändern und solange sich in der Zeit zwischen der Beobachtung in der Lage + und der Lage — des Instrumentes das Kimmpaar relativ zueinander nicht verschoben hat, worauf bei der Meßanordnung genügend Rücksicht zu nehmen ist. Die Kimmtiefenmessungen an Bord geben die Bestätigung. Gegen Ende der Beobachtungen auf „Hunte“ und am Anfang der „Adlergrund II“-Periode mußte das Instrument Nr. 5120 neu adjustiert werden, weil sich die Trommel verdreht hatte. Auf der „Hunte“ lag sowohl bei den Deck- wie Peilbrückenmessungen der mittlere Nullpunkt in — 0′.40 und später in — 1′.28 und — 1′.30; auf dem Feuerschiff bei den Brücken- und Deckbeobachtungen in — 1′.11 und — 1′.14, später in — 3′.01 und — 2′.98. Der mittlere Fehler schwankt für diese Werte zwischen ± 0′.08 und 0′.09, deckt sich also mit der Einstellschärfe. Für das Gerät Nr. 12 147 lassen sich der geringen Beobachtungszahl wegen solche Vergleiche nicht ziehen.

Damit ist bewiesen, daß die Größe der Kimmtiefen (Augeshöhen) keinerlei Einfluß auf die Nullpunktlage ausübt, wie es vordem irrtümlicherweise vermutet worden ist[1]).

Tatsächlich verschiebt sich aber der Nullpunkt, wenn eine einseitige Kimmanomalie vorliegt. Diese Verlagerung könnte jedoch nur dann von dem Gerät erfaßt werden, wenn im Blickfeld des Fernrohres eine Skala angebracht würde, wie sie die ursprünglichen Bauarten enthielten. Nach meinen Erfahrungen mit entsprechenden Anordnungen in Doppelgläsern für artilleristische und vermessungstechnische Zwecke wäre

[1]) L. V. 3, S. 18.

nicht zu erwarten, daß sich dadurch die Sicherheit oder Bequemlichkeit der Kimmtiefenmessung wesentlich verschlechtern würde.

Alle Abweichungen des Nullpunktes von dem wahren Wert erklären sich also einfach aus Einstellfehlern des Beobachters. Es ist hiervon für die Genauigkeitsprobe mit Nutzen Gebrauch gemacht worden.

Im Verlauf der Eichung verhielt sich der Nullpunkt von Pulfrich Nr. 5120 durchweg normal, während Pulfrich Nr. 12 147 einen ausgesprochenen Gang der Nullpunktwerte zeigte. Es müssen also die individuellen Eigenschaften des Geräts mit hineinspielen. Da die Größenordnung in unserem Meßbereich nur wenig vom Mittel abweicht (etwa 0′.1) und 12 147 selten und nur aushilfsweise benutzt wurde, ist dies belanglos. Die Kimmtiefen werden dadurch nicht beeinflußt. Die Übereinstimmung des Hin- und Rückgangs war bei beiden Geräten sehr gut und überstieg nur in zwei Fällen 0′.1 um ein geringes. Die mittleren Nullagen waren — 0′.26 beim Hin- und Rückgang für 5120, + 1′.82 und + 1′.87 (Mittel + 1′.84) für 12 147.

Die Bestimmung des Wertes eines Skalenteils hatte folgendes Ergebnis: Der Unterschied der End- und Anfangsmessung betrug 0′.06 bei Pulfrich Nr. 5120 und 0′.04 bei Pulfrich Nr. 12 147. Auch sonst differierten, wenn allein das Gebrauchsintervall bis etwa 10′ berücksichtigt wird, die Parallelwerte nur wenig, bei Nr. 5120 nicht über 0′.17, bei Nr. 12 147 nicht über 0′.06. Bei den beiden höchsten Werten der Kimmtiefe von Nr. 5120 (12′ und 13′) ergab sich die Maximaldifferenz der Einzelwerte = 0′.24. Alles in allem darf man demnach dem Ergebnis volles Zutrauen schenken.

Die Abweichungen der Beobachtung von dem errechneten Wert gibt nachstehende Tafel im Sinne K_t errechnet — K_t beobachtet ($K_r - K_b$).

$K_r - K_b$

K_r	Nr. 5120	Nr. 12 147
0′.25	+ 0′.23	—
1′.40	+ 0′.25	+ 0′.13
2′.55	+ 0′.37	+ 0′.16
4′.83	+ 0′.47	+ 0′.25
7′.13	+ 0′.42	+ 0′.17
9′.42	+ 0′.56	+ 0′.10
11′.72	+ 0′.16	+ 0′.16
12′.85	+ 0′.07	—
Mittel	+ 0′.32	+ 0′.16

Man sieht sofort, daß nur Pulfrich Nr. 12 147 eine mittlere Verbesserung zugeschrieben werden durfte. Pulfrich Nr. 5120 dagegen zeigt einen Gang, der bis zu einer Kimmtiefe von 10′ linear verläuft, um dann

unstetig abzufallen. Die höchsten Kimmtiefen des Geräts waren demnach gestört und durften nicht verwendet werden. Der Funktionsverlauf weist auf eine unrichtige Stellung einer Spiegelachse hin, wie sie bei Spiegelinstrumenten an der Tagesordnung ist. Von einer Störung kann man nicht sprechen, da der Einfluß funktionsmäßig zu erfassen ist; es ist aber ein warnendes Beispiel dafür, daß diese Geräte nicht ohne Kontrolle verwendet werden sollten, wie sie an Bord allerdings noch nicht durchführbar ist[1]).

So wurde für das Instrument Nr. 12 147 eine feste Verbesserung von + 0′.16 festgesetzt, während den Angaben des Instruments Nr. 5120 variable Verbesserungen nach dem Verlauf der Eichungskurve (mit einem Mittelwert von + 0′.32) je nach der gemessenen Kimmtiefe zugeschlagen wurden. Vergleichsbeobachtungen, die vor allem auf „Adlergrund II", aber auch auf „Hunte" und nach Beendigung der Untersuchungen angestellt wurden, bestätigten das Ergebnis der Eichung. Das Instrument Nr. 12 147 zeigte höhere Ablesungen als Nr. 5120, und zwar

auf „Hunte" um	+ 0′.12,	mittl. Fehl. = ± 0′.04,
auf „Adlergrund" um	+ 0′.22,	„ „ = ± 0′.09,
nach der Beobachtungsperiode um	+ 0′.15,	„ „ = ± 0′.14.

Der Mittelwert + 0′.16 deckt sich mit dem Eichungsbetrag.

Thorade hat dieselben Pulfrich-Geräte Nr. 5120 und Nr. 12 147 benutzt. Zu den Schlußfolgerungen[2]) aus seiner Eichung ist zu sagen: 1. Der Nullpunktsprung von der Bordmessung zur Eichung ist begründet in der eigentümlichen Meßanordnung der Eichung (Thorade hat die Mitte des Prismensystems bei der Messung über die Marke gehalten) und ist im vorliegenden Fall als halber Parallaxwert des Prismenabstandes in bezug auf den Basisendpunkt gleich —0′.3, was mit der tatsächlichen Erscheinung annähernd zusammenfällt. 2. Die Nullpunktverschiebung, die auftrat, rührte nicht von der Veränderung der Augeshöhe — Kimmtiefe — her (vgl. S. 22). 3. Pulfrich Nr. 5120 hatte bei Thorade den gleichen Fehler wie bei meinen Messungen (in einem Fall auf der Brücke mit dem gleichen Wert, sonst in gleicher Größenordnung). Ich fand einen Gang der Fehlergröße mit wachsender Kimmtiefe, Thorade bezeichnet sie als anscheinend konstant: Es liegt ein individueller Charakterzug des Geräts vor.

---

[1]) L. V. 3, S. 32. — [2]) L. V. 9, S. 18, 19.

3. Beobachtungsstände, Augeshöhen.

Gestirnhöhen wie Kimmtiefen wurden auf „Hunte“ von der Peilbrücke und von Deck aus gemessen — gelegentlich auch von der Brücke und vom zu Wasser gelassenen Beiboot aus —; die Standpunkte an Bord „Adlergrund II“ waren Schiffsbrücke und Deck, hier auch den Feuerturm oder ein Beiboot nutzbar zu machen, verbot die Wetterlage.

Im allgemeinen ist es üblich, die Augeshöhe auf den vollen oder halben Meter anzugeben. Schon Dr. Hessen[1]) hat erkannt, daß man für die vorliegenden Untersuchungen die Genauigkeit auf das Dezimeter steigern muß. Nun kann man einwerfen, daß schon bei geringem Seegang die Augeshöhe eine erhebliche Veränderlichkeit zeigt. Das ist an sich richtig; die Abweichung von dem Mittelwert infolge der Schiffsbewegungen werden aber zumeist während der Messung zu zufälligen Fehlern, es sei denn, daß das Schiff eine feste Schlagseite hat, die gesondert in Rechnung zu stellen ist.

Die später angegebenen Augeshöhen sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf 1 dcm genau. Ich gewann die Werte durch Messung mit geprüfter Lotleine und Zollstock und leitete sie außerdem aus den Schiffsplänen in Verbindung mit dem jeweiligen Tiefgang ab, indem ich die Austauchung infolge Gewichtsverlegungen und Brennstoffverbrauch berücksichtigte.

So können folgende Mittelwerte mitgeteilt werden; den Rechnungen selbst sind Augenblickszahlen zugrunde gelegt:

„Hunte“		„Adlergrund II“	
Standpunkt	Augeshöhe	Standpunkt	Augeshöhe
Peilbrücke	7.62 m	—	—
Brücke	5.51 m	Brücke	5.53 m
Deck	2.70 m	Deck	3.26 m
Boot	1.10 m	(Back)	(5.15 m)

4. Meteorologische Beobachtungen.

Die meteorologischen Werte wurden folgendermaßen ermittelt:

Bei den Terminbeobachtungen (s. S. 10) auf „Hunte“ wurde gemessen:

1. Temperatur der Wasseroberfläche,
2. Temperatur ½ m über Wasser,
3. Temperatur in Höhe der Reeling am Bug = 3,1 m ü. W.
4. Augeshöhe: achtern = 2,70 m ü. W.

[1]) L. V. 3, S. 5.

5. Augeshöhe: Peilbrücke = 7,60 m ü. W.
6. Mast (normal) = 11,50 m ü. W.
7. Mast oben = 16.50 m ü. W.

Gleichzeitig wurde die Windgeschwindigkeit mit dem Handanemometer gemessen. Seegang, Bewölkung und Schiffskurs wurden notiert. Die Luftfeuchtigkeit ergaben die Psychrometerbeobachtungen auf der Peilbrücke und an Deck (Augeshöhe), den Luftdruck lieferte der Barograph. Die Ergebnisse befriedigten im allgemeinen. Die Temperatur der Luft nahe der Wasseroberfläche wurde mit dem Kippthermometer bestimmt. Das Thermometer, an einer 6 m langen Aluminiumspier über Bord gehalten, hing im Durchschnitt auf 0.5 m über Wasser, etwas niedriger, wenn die See ruhig war, und bei Seegang bis zu 0.75 m über Wasser. Der Beobachter hatte es in der Hand, mit den Seen mitzugehen. Die Masttemperaturen wurden gleichfalls mit dem Kippthermometer gemessen, gleich im Anschluß an die Messung der Temperatur nahe der Oberfläche. Sämtliche Werte wurden in Luv gewonnen. Unter diesen Umständen kann man wohl annehmen, daß auf der „Hunte", so gut und sicher es von Bord aus überhaupt möglich ist, die tatsächlichen Temperaturen der Luftkörper in den einzelnen Höhen verhältnismäßig ungestört vom Wärmefeld des Schiffes erhalten worden sind. Da es aber zweifelhaft war, ob nicht dem Wärmefeld eine gewisse Rolle im Strahlengang eingeräumt werden muß, wurde in der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit auch die Temperatur an Deck mitten im Schiffseinfluß gemessen.

Zur Bestimmung der Temperatur der Wasseroberfläche wurde an ungestörter Stelle des Vorschiffs mit einem Zinkeimer Wasser aufgeschlagen und die Temperatur an einem gegen Wind und Sonne geschützten Platz mit einem Oberflächenthermometer gemessen.

Nach einer Vereinbarung mit dem Leiter der ozeanographischen Untersuchungen auf dem Forschungsdampfer „Poseidon" Herrn Prof. Dr. Schulz wurden auf „Poseidon" in korrespondierenden Augeshöhen gleiche Terminbeobachtungen durchgeführt. Die Gleichzeitigkeit wurde durch Signal von „Hunte" sichergestellt. Das Schiff „Poseidon" lag in der Peilbrückenkimm der „Hunte".

Auf „Adlergrund II" wurden die meteorologischen Beobachtungen in der gleichen Art ausgeführt. Der Luftdruck wurde mit einem Marinequecksilberbarometer gemessen. Leider stand ein Kippthermometer nicht zur Verfügung, so daß die Lufttemperatur in 0,5 m Höhe in der üblichen Weise abgelesen werden mußte. Da durch die offene Deckspforte von der Mitte des Schiffs aus gearbeitet werden konnte, ist nur ein geringer Höhenfehler von etwa 2 bis 3 dem in Rechnung zu stellen.

Statt der Masttemperatur, die infolge des Ausfalls des Kippthermometers einwandfrei nicht zu messen war, wurde die Temperatur auf der Back beobachtet, wo der Außenbordsluftkörper mit großer Wahrscheinlichkeit völlig ungestört Zutritt hatte.

Abgelesen wurde je nach der Art der Gradteilung auf 0°.01 oder 0°.1 genau.

IV. Die Kimmtiefen.

Die gewonnenen Kimmtiefen sollten einmal den astronomischen Höhenmessungen nutzbar gemacht und zum andern einer eingehenden Untersuchung unterworfen werden, die zum Gegenstand ihre Abhängigkeit von der senkrechten und, soweit überhaupt möglich, auch von der waagerechten Temperaturverteilung haben sollte. Dabei durfte nicht versäumt werden nachzuprüfen, welchen Einfluß auf die Kimm die Strahlungsverhältnisse, die Luftfeuchtigkeit und der Luftdruck hätten, und wie die Kimm im Sonnenazimut relativ zu der sonstigen Kimmlage und diejenige in Kursrichtung zur Querschiffskimm beobachtet worden war.

Zur Verfügung standen 790 mittlere Kimmtiefen zu je 6 Einstellungen = 4740 Einzelmessungen, die auf „Hunte“ und „Adlergrund II“ gemessen waren.

1. Statistische Untersuchungen.

a) Genauigkeitsprobe.

Die Genauigkeitsprobe wurde zunächst in Anlehnung an die Einzeleinstellungen gemacht, um einen rohen Anhalt und einen mit den Ergebnissen früherer Beobachter vergleichbaren Wert zu gewinnen. Ich fand den Fehler einer Einstellung zu ± 0′.08 für „Adlergrund II“ und mit ± 0′.09 für „Hunte“. Dem stehen gegenüber:

Huber mit ± 0′.12. Przybyllok mit ± 0′.11, Thorade mit ± 0′.18 bis ± 0′.20.

Diese relative Genauigkeit sagt aber nur etwas aus über die Lage einer Einzelserie zu i h r e m Mittel und reicht nicht hin für einen vollen Einblick in die vom wahren Mittel erzielten Abweichungen. Hierzu bediente ich mich des Ganges der Nullpunkte (s. S. 23). Bildet man die Abweichungen des einzelnen Nullpunktes von dem aus allen Beobachtungen errechneten wahrscheinlichsten Nullpunkt, so findet man als mittleren Fehler:

Für „Adlergrund II“ . . .	Brücke . . .	± 0′.09,
	Deck . . .	± 0′.07.
Für „Hunte“	Peilbrücke .	± 0′.10,
	Deck . . .	± 0′.07.

Es kann also allgemein als mittlerer Fehler einer Kimmtiefe das einfache Mittel mit ± 0′.08 gesetzt werden. Die Abweichungen der Einzelwerte vom mittleren Nullpunkt ihrer Häufigkeit nach gibt nachstehende Tafel.

Die Zuverlässigkeit des vorliegenden Kimmtiefenmaterials wird dadurch unterstrichen, daß im ganzen Verlauf der Untersuchungen nur sechs Werte ausgeschlossen werden mußten. da es nach den Aufzeichnungen der Beobachtungsprotokolle nicht zu umgehen war.

Abweichungen vom mittleren Nullpunkt	„Hunte“		„Adlergrund II“	
	Zahl der Fälle	%	Zahl der Fälle	%
0′.00 bis 0′.05	85	47.5	97	49.5
0′.06 „ 0′.10	41	22.8	54	27.5
0′.11 „ 0′.15	31	17.3	29	14.8
0′.16 „ 0′.20	10	5.6	6	3.1
0′.21 „ 0′.25	7	4.0	7	3.6
0′.26 „ 0′.30	1	0.5	1	0.5
0′.31 „ 0′.35	3	1.8	1	0.5
0′.50 „ 0′.60	1	0.5	—	—
0′.61 „ 0′.70	—	—	1	0 5
	179	100.0	196	100.0

b) Sonnenkimmlage.

Die Sonnenkimm liegt, wie eine Zusammenstellung von 321 Kimmtiefenmitteln aus sechs Einstellungen ergibt, scheinbar höher als die Kimm quer dazu (s. jedoch S. 103). Ich fand für den Ausdruck (Kimmtiefe quer zur Sonne — Kimmtiefe) im Mittel:

	Querkimmtiefe weniger:			
	St. B. Zw.[1]) Kimmtiefe	⊙ Kimmtiefe	B. B. Zw.[1]) Kimmtiefe	Bemerkungen
Hunte	+ 0′.11	+ 0′.22	+ 0′.11	[1]) 45° von Sonne ab.
Adlergrund II . . .	+ 0′.04	+ 0′.22	+ 0′.02	
Mittel	+ 0′.08	+ 0′.22	+ 0′.06	

Die mittleren Fehler des Einzelwertes waren bei der

	„Adlergrund II“	„Hunte“
Sonnenkimmtiefe	$= \pm 0'.16$	$\pm 0'.22$
Kimmtiefe 45° abseits der Sonne	$= \pm 0'.10$	$\pm 0'.14$

Die Abweichungen der Sonnenkimm von dem jeweiligen mittleren Wert der unbestrahlten Kimmen ($K_{bm} - K_o$) — 82 Vergleichswerte — zeigen folgendes Bild:

Im Mittel ist $K_{bm} - K_o = + 0'.19$ mit einem mittleren Fehler $E = \pm 0'.03$, aber bei einem mittleren Fehler des Einzelgliedes von $\varepsilon = \pm 0'.28$. Demnach deckt sich die mittlere Kimm (ohne Sonnenkimm) fast genau mit derjenigen quer zur Sonne, was in Verbindung mit der Lage der Zwischenkimmen darauf hinweist, daß sich die Störungen der Kimm in der Hauptsache um das Sonnenazimut herum abspielen. Die Fehlergrößen lassen deutlich erkennen, wie stark die Werte der Sonnenkimmtiefe schwanken. Ich habe mich deshalb dahin entschieden, die Höhen der Gestirne mit den mittleren, strahlungsfreien Kimmen zusammenzukoppeln, da die Unsicherheit der Einzelbeobachtung einer Sonnenkimm nicht durch das Ausschalten der Kimmtiefendifferenz ($K_{bm} - K_o$) aufgewogen wird. Für die allgemeine Untersuchung der Kimmtiefen schied die Sonnenkimm natürlich ebenfalls aus.

Die Anomalien der Sonnenkimm sind ohne Zweifel zum Teil nur scheinbare, da es, wie schon am Anfang dieser Arbeit ausgeführt wurde, besonders schwierig ist, die Sonnenkimm einwandfrei zu messen. Es würde einen Fortschritt bedeuten, wenn man für die astronomische Ortsbestimmung von der Sonnenkimm loszukommen vermöchte. Versuche sind von der Nautischen Abteilung der Marineleitung durch Herrn Ministerialrat Prof. Dr. Wedemeyer nach dieser Richtung auf Grund meiner Ergebnisse im Gange. Hierbei ist nicht zu vergessen, daß die Bordmessungen die Mittelwerte eines Kimmpaares darstellen, was gerade bei der Beurteilung der gefundenen Schwankungen der Sonnenkimm besonders zu beachten ist, da die Gegenkimm des Sonnenazimutes der ungestörteste Kimmrepräsentant ist, so daß die Amplituden der tatsächlichen Sonnenkimmschwankungen bedeutend größer sein dürften als der mit dem Kimmtiefenmesser ermittelte Wert. Daher mag es auch kommen, daß die stärksten Abweichungen zweier Kimmstellen längst nicht die Größenordnung erreichen, wie sie Koß[1]) gefunden hat. Ich beobachtete nur an einem Tage auf „Hunte“ zwei ähnliche Werte, muß aber die eine Differenz von 2'.2 zwischen 2 um 45°

[1]) L. V. 4, S. 34.

voneinander abliegenden Kimmen auf Messungsungenauigkeit schieben Die andere Anomalie jedoch dürfte reell sein, da das Protokoll übe das Kimmaussehen urteilt: „Gut, silbrig, Ränder scharf." Der Win wehte mit 2 m/sec aus SW. Ich maß an Deck:

Sonnenkimmtiefe . . . . . = 3′.99,
quer dazu. . . . . = 4′.47 und
dazwischen . . . . . = 5′.59.

c) Längsschiffs- und Querkimmlage.

Für die gegenseitige Lage der Längs- zur Querkimm (auf das Schif bezogen) wurde aus 50 Beobachtungen abgeleitet, daß letztere i 36 Fällen unterhalb und nur in 14 Fällen oberhalb der Längskimm lag Die Differenzen Querkimm- — Längskimmtiefe gruppierten sich nac der Häufigkeit des Vorkommens folgendermaßen:

	0′.00 bis 0′.10	0′.11 bis 0′.20	0′.21 bis 0′.30	0′.31 bis 0′.40	> 0′.4
a) Anzahl der Fälle +	8	16	11	1	0,
b) „ „ „ —	6	4	2	1	1.

Der zahlenmäßige Mittelwert aller Fälle liegt bei + 0′.08, de Scheitelwert schiebt sich noch etwas mehr nach der positiven Seite her aus. Die Längskimm liegt also h ö h e r als die Querkimm, nicht um gekehrt[1]). Demnach kann die Erklärung nicht mehr in der Schiffs bewegung gesucht werden, eine Ansicht, die schon deswegen nicht rech plausibel ist, weil der Beobachter erfahrungsgemäß die Pendelunge der Kimm infolge schwankender Plattform unwillkürlich auszugleiche sucht.

Erklärt könnte die gefundene Kimmbeziehung dadurch werden, daß der Lichtstrahl der Längskimm einen weiteren Weg im W ä r m e f e l d des Schiffes zurücklegen muß, als es bei Querschiffsbeobachtungen de Fall ist, wodurch eine Hebung der Kimm erzeugt wird.

d) Kurzabständige Kimmanomalien.

Von großer Bedeutung für die Beurteilung der astronomische Ortsbestimmung ist die Frage, wie schnell und in welchem Ausmaß sic die Kimm ändert unter sonst einigermaßen stabilen Wetterverhältnissen Setzt man in die Rechnung gleichzeitig gemessene Werte ein, so spiel die Veränderlichkeit keine Rolle, wohl aber dann, wenn man gezwunge ist, zeitlich nicht unmittelbar zusammenfallende Werte miteinander zu verbinden, wie es vornehmlich bei Sternbeobachtungen in der Dämme

[1]) L. V. 3, S. 10, 11.

rung die Regel ist, da man bei der Höhenmessung den Stern viel länger auf eine noch ganz gut brauchbare Kimm herunterholen kann, als man imstande ist, das Kimmpaar zur Deckung zu bringen. Von 81 untersuchten Fällen von je zwei Kimmtiefen zeigen 53 einen Unterschied von 0′.10, und zwar bei

einer Zwischenzeit von	31 bis 40^m	21 bis 30^m	11 bis 20^m	6 bis 10^m	0 bis 5^m
Zahl der Fälle . . .	4	0	12	27	10.

Die Häufigkeit, mit der bei den restlichen 28 Fällen innerhalb einer Zeitspanne von 5 Minuten die verschiedenen Unterschiedswerte zweier Nachbarmessungen derselben Kimm aufgetreten sind, zeigt nachstehende Tabelle:

Kimmänderung innerhalb 5 Minuten	Zahl der Fälle
0′.00 bis 0′.05	8
0′.06 „ 0′.10	12
0′.11 „ 0′.15	1
0′.16 „ 0′.20	2
0′.21 „ 0′.30	2
0′.31 „ 0′.40	2
0′.41 „ 0′.50	1
0′.00 bis 0′.50	28

Bei 71 % aller Kimmtiefenpaare beträgt die Verlagerung der Kimm innerhalb 5 Minuten nur 0′.10, in keinem Fall über 0′.50. Also können die Kimmwanderungen in der Regel für die Zeitdauer astronomischer Bordmessungen vernachlässigt werden. Allerdings wird man bei etwas langwierigeren Sternbeobachtungen in der Bewertung vorsichtig sein oder die Kimmlage aus anderen Faktoren berechnen müssen (s. S. 88 β).

2. Ausgleichung.

a) Historischer Überblick.

Der Stand der Angelegenheit war folgender: Koß und Graf Thun-Hohenstein[1]) hatten auf Grund ihrer Kimmtiefenbeobachtungen zu Veradulla festgestellt:

1. Die Kimmtiefe ändert sich mit dem Temperaturgradienten Luft — Wasser. Die Lufttemperatur ist so nahe der Wasseroberfläche wie möglich zu messen.

2. Der Luftdruck und die Feuchtigkeit haben keine merkliche Einwirkung auf die Kimmtiefe, auch die Bewölkung nicht. Die allgemeine

[1]) L. V. 4.

Höhe der Temperatur ändert den Refraktionskoeffizienten um ein geringes.

Kohlschütter[1]) hatte die Koßschen Beobachtungen analysiert, durch eine umfassende Theorie fest fundiert und als erster eine praktische Formel für die Kimmtiefen in ihrer Abhängigkeit zur senkrechten Temperaturverteilung gegeben:

$$K_t = 1'.82 \sqrt{A.H.} - 0'.41 (t_a^\circ - t_w^\circ).$$

Hierin bedeuten: A.H. = Augeshöhe, t_w = Wassertemperatur, t_a = Temperatur in A.H.

Auf der deutschen Antarktischen Expedition auf „Deutschland" fand Przybyllok[2]), daß es für die nautische Praxis besser sei, die Kimmtiefe zu messen (anstatt sie aus Temperaturbeobachtungen abzuleiten).

Die russische Murmanexpedition 1906[3]) hatte starke Abhängigkeit der Kimmlage von der senkrechten Temperaturverteilung festgestellt.

Die Bearbeiter des Materials der Reichsmarine[4]) hatten gefunden:

1. Das konstante Glied der verwendeten Kimmtiefenformeln, nämlich 1.82 bei Kohlschütter und in den Nautischen Tafeln (die Meldau-Breusingsche Tafel legt 1.78 zugrunde) und 1.93 der geodätischen Kimmtiefe ist um etwa 0'.2 bis 0'.3 zu groß. Die Berücksichtigung des Unterschiedes der Luft- gegen Wassertemperatur nach Kohlschütters Formel bringt nicht viel Vorteil (Dr. Hessen).

2. Von wesentlichem Einfluß scheint nicht die Temperatur in 1 m Höhe, sondern die in Masthöhe (27.2 m) gemessene zu sein. Die Differenz der Temperatur Mast—Augeshöhe ist von größerem Einfluß als die Differenz Augeshöhe—Wasseroberfläche (Dr. Huber).

3. Eine Abhängigkeit der Kimmtiefe vom Unterschied der Temperatur in Augeshöhe und der Wassertemperatur war nur sehr undeutlich oder gar nicht zu erkennen.

Maßgebend war der Temperaturunterschied zwischen der Wasseroberfläche und 1 m darüber.

Andere Ursachen, die sich bislang der Beobachtung entzogen, sind von so starkem Einfluß, daß die Berücksichtigung der Temperaturunterschiede nur eine ganz geringe Verbesserung für die feste Kimmtiefe der Nautischen Tafeln bedeutet.

---

[1]) L. V. 5. — [2]) L. V. 9. — [3]) L. V. 12. — [4]) L. V. 3.

Eine Berechnung der Kimmtiefe nach der Formel (für ihre Abhängigkeit von den senkrechten Temperaturgradienten) lohnt sich für die nautische Praxis deshalb kaum. Will man die Kimmtiefe mit ihrem genauen Wert in die Rechnung einsetzen, sei es in Ausnahmefällen, sei es etwa bei Vermessungen, so wird man zum Kimmtiefenmesser greifen müssen.

Unter diesen Umständen sind Temperaturbeobachtungen zur Bestimmung der Kimmtiefe nicht mehr notwendig (Dr. Thorade).

Immler[1]) erklärt, daß es völlig berechtigt ist, wenn die Praxis die Zusatztabelle der älteren Nautischen Tafeln „Verbesserung der mittleren Kimmtiefe unter Zugrundelegung der Luft- und Wassertemperatur" nicht gebraucht.

Aus dieser gedrängten Zusammenstellung ist ohne weiteres ersichtlich, daß nur eine unangelehnte Untersuchung, die sich auf alle einschlägigen Faktoren zu erstrecken hatte, Klarheit zu schaffen vermochte.

b) Beobachtungen auf Hunte.

α) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle. Als erstes untersuchte ich die beobachteten Kimmtiefen der „Hunte" als Funktion des Temperaturgradienten (Wasser—Luft), für den die Temperaturen in Augeshöhe, etwa ½ m über dem Wasserspiegel und in Höhe des Mastes (11 bis 12 m) zur Verfügung standen. Da die Oberflächen- wie die Masttemperaturen mit dem neuen Richterschen Kippthermometer nach Böhnecke gemessen waren, war die Zuverlässigkeit bei allen Werten gleich groß.

Für den Kimmtiefengang auf Grund der Koßschen Ergebnisse die Temperatur nahe der Wasseroberfläche in überragender Weise verantwortlich zu machen, wodurch die an der Gestaltung des Lichtstrahls doch ebenfalls beteiligten höheren Luftschichten gänzlich ausgeschaltet worden wären, konnte ich mich nicht entschließen. Ich baute die Untersuchung vielmehr auf der Temperatur der Augeshöhe auf, d. h. ich benutzte die Lufttemperatur im Anfangs- und Endniveau der Bahn des Lichtstrahls. Als Anfangswert wurde stets die Temperatur des Wasserspiegels eingesetzt. Die beobachteten Kimmtiefen wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen, indem gesetzt wurde: $K_{bm} = a + b\,\Delta t°$, wo $\Delta t°$ den Temperaturgradienten (Luft—Wasser) bedeutet. Ich fand für

„Hunte" (Peilbrücke): $K_{bm} = +\,5'.27 - 0'.3258\,(t_a° - t_w°)$[2]),
(Deck) . . $K_{bm} = +\,3'.16 - 0'.3715\,(t_a° - t_w°)$,

[1]) L. V. 6.

[2]) t_w = Wassertemperatur; K_{bm} = mittlere Kimmtiefe;
t_a = Temperatur in Augeshöhe.

Hierbei ergaben sich die Fehlerquadratsummen

auf der Peilbrücke zu 7.1 gegen vorher 88.2
an Deck . . zu 3.2 „ „ 43.1

und die mittleren Fehler für die einzelne Messung

auf der Peilbrücke zu $\pm$ 0′.30, Gliederzahl 81
an Deck . . zu $\pm$ 0′.32, „ 34

Fehlerverteilung in Intervallen von 0′.10, Gliederzahl = 1.

Intervalle	Peilbrücke		Deck	
	Gliederzahl 81		Gliederzahl 34	
— 0′.05 bis + 0′.05	0.23		0.18	
zwischen 0′.06 und 0′.15	+ 0.13	— 0.10	+ 0.12	— 0.12
„ 0′.16 „ 0′.25	+ 0.09	— 0.12	+ 0.06	— 0.09
„ 0′.26 „ 0′.35	+ 0.04	— 0.09	+ 0.12	— 0.06
„ 0′.36 „ 0′.45	+ 0.05	— 0.06	+ 0.06	— 0.03
„ 0′.46 „ 0′.55	+ 0.02	— 0.02	+ 0.06	— 0.06
„ 0′.56 „ 0′.65	+ 0.00	— 0.00	+ 0.00	— 0.03
„ 0′.66 „ 0′.75	+ 0.01	— 0.01	+ 0.03	— 0.00
„ 0′.76 „ 0′.85	+ 0.01	— 0.00	—	—
„ 0′.86 „ 0′.95	+ 0.01	— 0.00	—	—
Σ	+ 0.36	— 0.40	+ 0.45	— 0.39

Es sind sämtliche Werte herangezogen worden, da die Wetterlage ein Ausmerzen wegen Seegangs unnötig machte. Die Abbildungen Nr. 7 und Nr. 8 zeigen die Lage der Einzelwerte und der Gruppenmittel zur Geraden nach obiger Formel.

Bei ruhiger See sind in einer Entfernung von etwa 150 m hinter dem Schiff vom Boot aus mit 1.10 m Augeshöhe 5 Kimmtiefengruppen gelungen. Gleichzeitig wurden die Temperaturen der Luft in Augeshöhe, eben über Wasser, 1.50 m oberhalb und im Wasserspiegel bestimmt. Abbildung 9 gibt die Lage der Werte als Funktion des Temperaturgradienten $(t_l - t_w)$[1]).

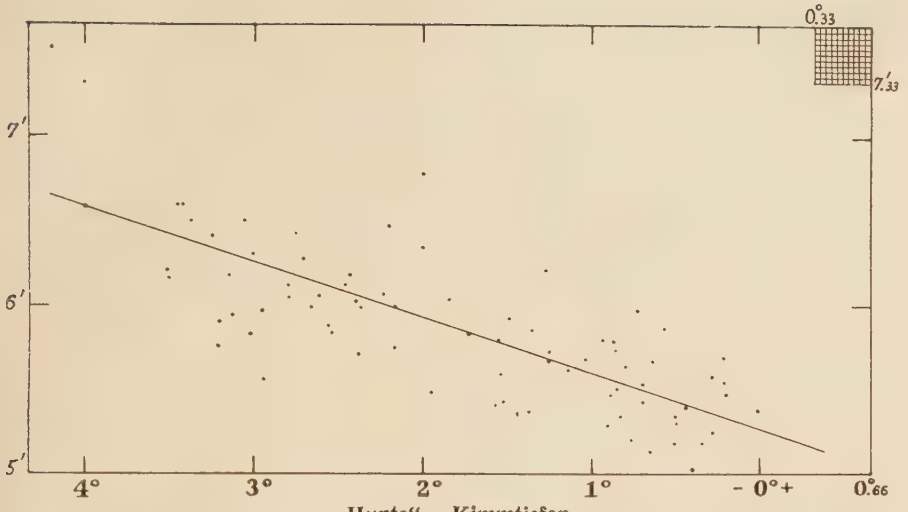
Schon nach diesem Ergebnis unterlag es keinem Zweifel mehr, daß die Differenz der Temperatur der Luft und des Wasserspiegels die Kimmtiefe in erheblicher Weise beeinflußt. Interessant ist es, daß schon die fünf Bootsbeobachtungen ein klares Bild von dem herrschenden Einfluß geben.

Setzen wir für die Peilbrücke statt der K_{bm} die Sonnenkimmtiefe ein, so erhalten wir auf graphischem Wege mit Hilfe von Gruppenmitteln die Formel

$$K_o = + 5'.07 - 0'.356\,(t_a^\circ - t_w^\circ).$$

[1]) t_l = Lufttemperatur.

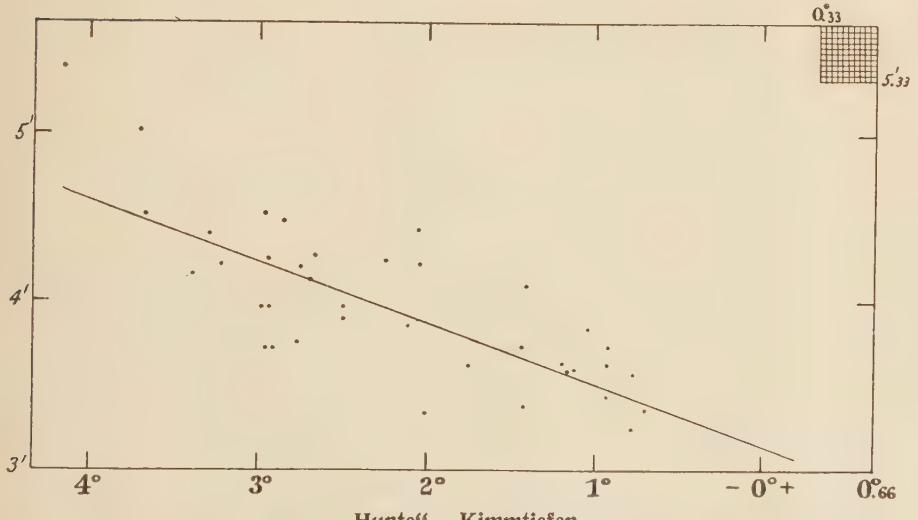
Abb. 7.



„Hunte". Kimmtiefen.

$K_{b\,m}$, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet auf der Peilbrücke, und Differenz der Lufttemperatur in Augeshöhe und der Wassertemperatur: $K_{b\,m} = 5'.3 - 0'.33\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$.
——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. · = Kimmtiefenwert.

Abb. 8.



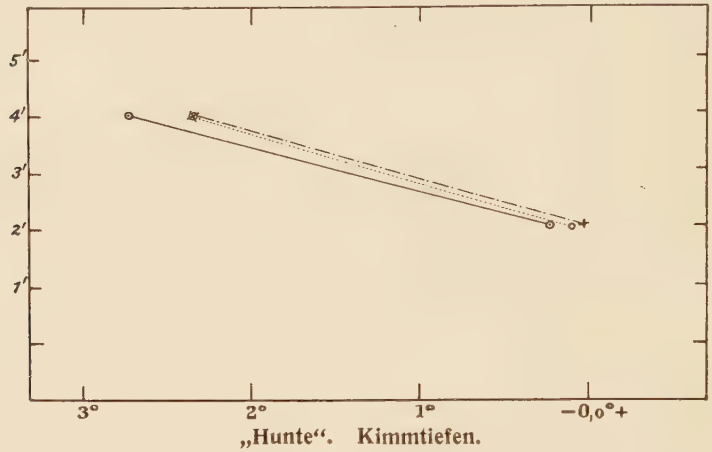
„Hunte". Kimmtiefen.

$K_{b\,m}$, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet an Deck, und Differenz der Lufttemperatur in Augeshöhe und der Wassertemperatur: $K_{b\,m} = 3'.2 - 0'.37\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$.
——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. · = Kimmtiefenwert.

Das konstante Glied der Gleichung für die Sonnenkimmtiefen ist um 0'.20 kleiner als dasjenige der K_{bm}; dadurch wird das frühere Ergebnis über die relative Lage der Sonnenkimm zu der mittleren bestätigt.

Eine Schwäche der gefundenen Beziehung der mittleren Kimmtiefe zur Lufttemperatur liegt darin, daß als Mittelwert für die Temperaturverteilung längs der Lichtstrahlen die Temperaturen am Beobachtungsort eingeführt werden mußten. Diese Unsicherheit läßt sich bei derartigen Beobachtungen an Bord nie vermeiden und vermag den Genauig-

Abb. 9.



„Hunte". Kimmtiefen.

K_{bm}, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet im Boot, und Differenz der Temperatur der Luft und des Wassers.

⊙ = Gruppenmittel (aus 2 und 3 Werten) der Werte als Funktion der Augeshöhetemperatur, × = Gruppenmittel (aus 2 und 3 Werten) der Werte als Funktion der Temperatur in 0,5 m Seehöhe. ○ = Gruppenmittel (aus 2 und 3 Werten) als Funktion der Masttemperatur.

keitsgrad einer Kimmtiefe herabzusetzen, wenn sie aus gemessenen Temperaturen abgeleitet wird. In unserem Fall wird dies Verfahren den wirklichen Verhältnissen in der Regel nahekommen, da stets ein Kimmpaar gemessen und die mittleren Kimmtiefen aus je einer über den ganzen Meereshorizont verteilten Rundmessung gewonnen worden sind. Eine gewisse Bestätigung fand diese Auffassung, als die Temperaturen, die an Bord des Dampfers „Poseidon" gemessen waren, zum Vergleich herangezogen wurden.

Die Abweichungen der auf „Hunte" in der Peilung des „Poseidon" beobachteten Kimmtiefen von der mit dem Tafelwert berechneten Kimmtiefe $K_r = 1.779 \sqrt{A.H.}$ wurden als Funktion der Temperaturgradienten

(Augeshöhe—Wasser) und (Nahe der Oberfläche—Wasser) auf „Poseidon“ und auf „Hunte“ aufgetragen, und ausgleichende Geraden gezogen, deren Gleichungen lauten:

„Hunte“-Temperatur: $\Delta K_t = +0'.32 - 0'.35\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$,
„Poseidon“- „ : $\Delta K_t = +0'.27 - 0'.35\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$,
„Hunte“- „ : $\Delta K_t = +0'.32 - 0'.40\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$ [1]),
„Poseidon“- „ : $\Delta K_t = +0'.36 - 0'.40\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$,

Für die Kimmtiefenuntersuchungen könnten also die Werte Poseidon—Hunte ohne wesentliche Beeinträchtigung des Ergebnisses vertauscht werden.

Weiterhin war zu untersuchen, ob die Temperatur nahe dem Wasser und die Masttemperatur zu der mit Hilfe der Temperatur der Augeshöhe gefundenen Beziehung zusätzliche Glieder lieferten, durch die der Temperaturablauf längs der Lichtbahn vielleicht mit höherer Wahrscheinlichkeit hätte erfaßt werden können. Deshalb wurden die Reste des Ausgleichs der K_{bm} (s. S. 34) nach den Temperaturdifferenzen $(t_o - t_w)$ und $(t_m - t_w)$ [2]) geordnet, Gruppenmittel errechnet und dann eine Gerade möglichst so hindurchgelegt, daß die Quadratsumme ein Minimum ergab, da die Lage der Gruppenmittel zu einem scharfen Ausgleich nicht ermutigte. Die empirischen Gleichungen lauten:

Peilbrücke:
Masttemperatur: Reste $= \pm 0'.00 + 0'.010\,(t_m^\circ - t_w^\circ)$
Temperatur $^1/_2$ m ü. W.: „ $= -0'.02 + 0'.013\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$

Deck:
Masttemperatur: Reste $= +0'.02 + 0'.023\,(t_m^\circ - t_w^\circ)$
Temperatur $^1/_2$ m ü. W.: „ $= +0'.01 - 0'.020\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$

Das Ergebnis leidet darunter, daß nach den Angaben des Protokolls 1 bis 3 Beobachtungen verworfen werden mußten, die zwar für die Kimmuntersuchung selbst keine Bedeutung haben konnten, dagegen hier ihren Einfluß dahin geltend gemacht hätten, die Abhängigkeit der Variabeln noch undeutlicher werden zu lassen. Man wird also von einem gesicherten Einfluß der untersuchten beiden Temperaturen über den der Augeshöhentemperatur hinaus nicht sprechen können, weder an Deck noch auf der Peilbrücke.

Nun wurde das Ursprungsmaterial als Funktion der gleichen Tem-

---

[1]) Temperaturgefälle ($^1/_2$ m über Wasseroberfläche — Wasser).
[2]) Temperaturgefälle (Mast, unten — Wasser).

peraturgradienten dargestellt, nach der Methode der kleinsten Quadrate streng ausgeglichen und die Formeln ermittelt:

Peilbrücke:

a) Temperatur $^1/_2$ m über Wasser: $K_{bm} = 5'.28 - 0'.3209\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$

b) Masttemperatur . . . . . $K_{bm} = 5'.25 - 0'.3276\,(t_m^\circ - t_w^\circ)$

Deck:

c) Temperatur $^1/_2$ m über Wasser: $K_{bm} = 3'.28 - 0'.3850\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$

d) Masttemperatur . . . . . $K_{bm} = 3'.26 - 0'.3244\,(t_m^\circ - t_w^\circ)$

Die Quadratsummen der Fehler gingen in ähnlichem Umfang zurück wie bei dem Gradienten der Augeshöhen, auch die mittleren Fehler sind gleicher Größenordnung. Es betrugen nämlich bei:

a) die Fehlerquadratsumme 4.32, geg. vorh. 58.7, $\varepsilon = \pm 0'.27$ Gliederzahl 63
b) „ „ 7.07, „ „ 80.7, $\varepsilon = \pm 0'.31$ „ 74
c) „ „ 2.25, „ „ 36.8, $\varepsilon = \pm 0'.30$ „ 28
d) „ „ 3.00, „ „ 41.9, $\varepsilon = \pm 0'.33$ „ 31

Fehlerverteilung:

Intervall = 0'.10, Gliederzahl = 1.

Peilbrücke

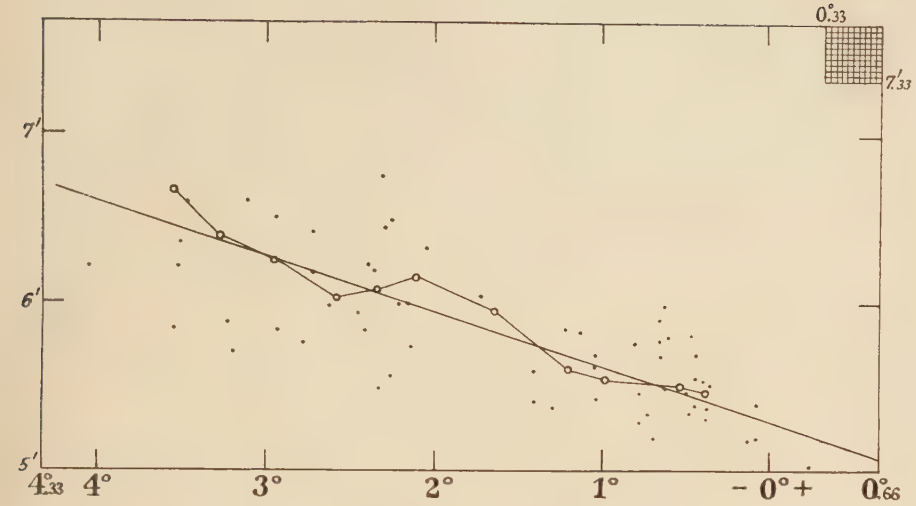
Intervalle	a) Gliederzahl 63		b) Gliederzahl 74	
— 0'.05 bis + 0'.05	0.22		0.21	
zwischen 0'.06 und 0'.15	+ 0.16	— 0.16	+ 0.15	— 0.12
„ 0'.16 „ 0'.25	+ 0.07	— 0.08	+ 0.08	— 0.09
„ 0'.26 „ 0'.35	+ 0.05	— 0.05	+ 0.06	— 0.07
„ 0'.36 „ 0'.45	+ 0.05	— 0.05	+ 0.01	— 0.07
„ 0'.46 „ 0'.55	+ 0.03	— 0.05	+ 0.03	— 0.03
„ 0'.56 „ 0'.65	+ 0.02	— 0.02	+ 0.01	— 0.02
„ 0'.66 „ 0'.75	—	—	+ 0.01	— 0.00
> 0'.76	—	—	+ 0.01	— 0.00
Σ	+ 0.38	— 0.41	+ 0.36	— 0.40

Deck

Intervalle	c) Gliederzahl 28		d) Gliederzahl 31	
— 0'.05 bis + 0'.05	0.29		0.23	
zwischen 0'.06 und 0'.15	+ 0.14	— 0.07	+ 0.10	— 0.10
„ 0'.16 „ 0'.25	+ 0.10	— 0.05	+ 0.10	— 0.13
„ 0'.26 „ 0'.35	+ 0.06	— 0.10	+ 0.03	— 0.03
„ 0'.36 „ 0'.45	+ 0.00	— 0.06	+ 0.06	— 0.00
„ 0'.46 „ 0'.55	+ 0.04	— 0.04	+ 0.06	— 0.06
„ 0'.56 „ 0'.65	+ 0.04	— 0.00	+ 0.03	— 0.03
> 0'.66	—	—	+ 0.00	— 0.03
	+ 0.38	— 0.32	+ 0.38	— 0.38

Siehe Abbildungen Nr. 10 bis 13.

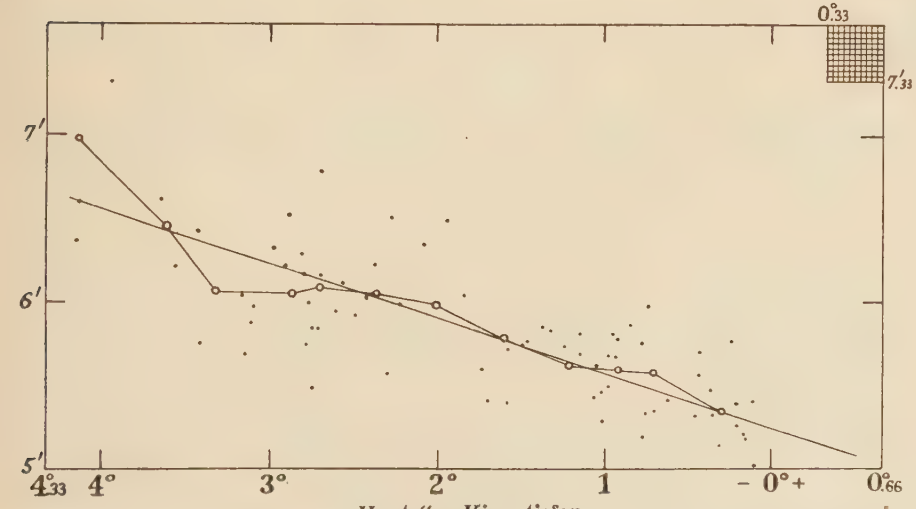
Abb. 10.



„Hunte". Kimmtiefen.

K_{bm}, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet auf der Peilbrücke, als Funktion der Differenz der Temperatur 0,5 m oberhalb der Wasseroberfläche und des Wassers. $K_{bm} = 5'.3 - 0'.32 \left(t^{\circ}_{0} - t^{\circ}_{w}\right)$. ○ = Gruppenmittel. • = Kimmtiefe. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu.

Abb. 11.

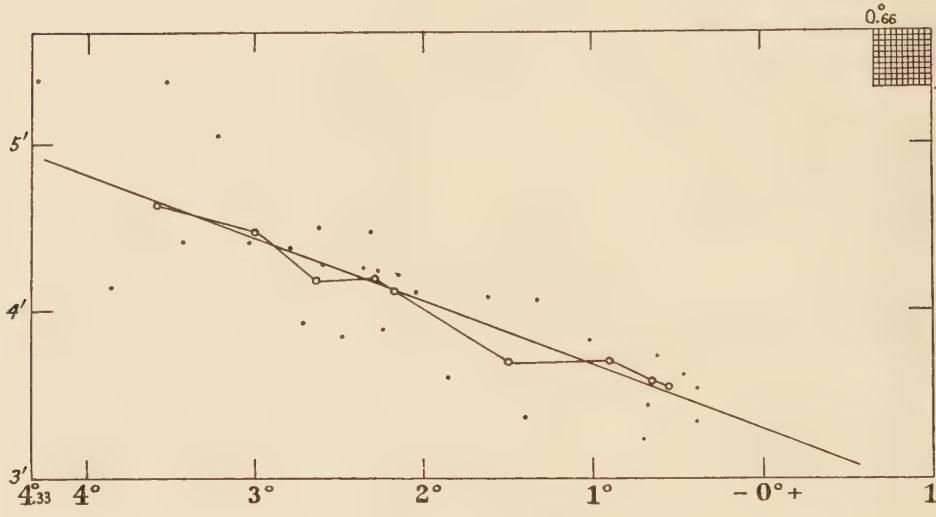


„Hunte". Kimmtiefen.

K_{bm}, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet auf der Peilbrücke, als Funktion der Differenz der Temperatur am unteren Mast und des Wassers.
$K_{bm} = 5'.25 - 0'.33 \left(t^{\circ}_{m} - t^{\circ}_{w}\right)$. ○ = Gruppenmittel. • = Kimmtiefe.
——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu.

Im Einklang mit den Gleichungen für die Reste aus der Augeshöhenformel erwies sich somit auf der Peilbrücke der Einfluß der Temperaturgradienten als gleichwertig, ob die Lufttemperaturen nahe der Oberfläche, im Mast oder in Augeshöhe des Beobachters gewonnen wurden, während die Beobachtungen in der wassernahen Deckshöhe anscheinend am meisten von den Gradienten der Luft über der Oberfläche zur Wassertemperatur beeinflußt wurden, aber auf die Masttemperatur

Abb. 12.



„Hunte". Kimmtiefen.

$K_{b\,m}$, Strahlungsfreies Mittel, beobachtet an Deck, als Funktion der Differenz der Temperatur 0.5 m oberhalb der Wasseroberfläche und des Wassers.

$K_{b\,m} = 3'.3 - 0'.38\,(t^{\circ}_{0} - t^{\circ}_{w})$. ○ = Gruppenmittel. · = Kimmtiefe. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu.

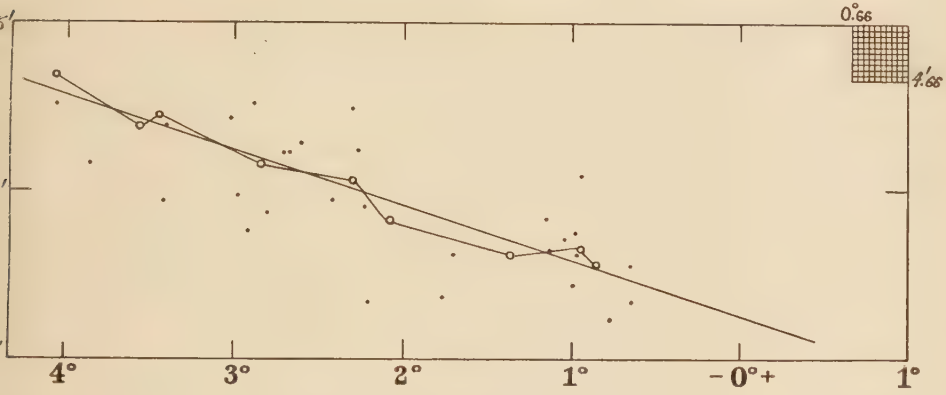
am wenigsten reagierten[1]). Durchweg waren aber die Unterschiede so gering, daß sie für die Temperaturgradienten, wie sie bei dieser Untersuchung vorkamen und wie sie normalerweise zu erwarten sind, nicht ins Gewicht fielen.

β) Der günstigste Temperaturgradient. Selbst für den praktischen Bordgebrauch ließ sich somit noch kein Urteil darüber fällen, in welcher Höhe über Wasser diejenige Temperatur ermittelt werden muß, die der Beschickung der Tafelkimmtiefe für die gegebenen

[1]) Siehe auch L. V. 3, S. 29.

Temperaturverhältnisse zugrunde zu legen ist. Dazu prüfte ich alle zugänglichen Einzelwerte der Kimmtiefen ($K_{b\,m}$), soweit sie zu nennenswerten Temperaturdifferenzen der Luft in verschiedenen Höhen über Wasser gehörten, daraufhin, mit welchem der senkrechten Temperaturgradienten sie sich am besten dem gefundenen Gesetz einfügten. Ich legte den Ausdruck für die Kimmtiefe als Funktion des Gefälles der Temperatur in Augeshöhe und des Wassers zugrunde, da er die einzig brauchbare Nutzformel für die Praxis darstellt und die Hinzunahme der Temperaturen anderer Höhen über

Abb. 13.



„Hunte". Kimmtiefen.

$K_{b\,m}$, beobachtet an Deck, als Funktion der Temperaturdifferenz am unteren Mast und des Wassers. ○ = Gruppenmittel. · = Kimmtiefe. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. $K_{b\,m} = 3'.3 - 0'.325\,(t^{\circ}_{m} - t^{\circ}_{w})$.

Wasser eine Verbesserung von irgendwelcher Bedeutung nicht gebracht hatte.

Es wurden 2 Gruppen zusammengestellt, von denen die erste nur Kimmtiefen mit Temperaturdifferenzen $\geq 0°.5$ bei Wind $\neq 0$, die zweite die Kimmtiefen bei Windstille umfaßte. Untersucht wurden 32 (30) Einzelwerte; nachstehende Tabellen zeigen das Ergebnis. Hierin bedeutet „gleich": die Unterschiede liegen innerhalb der Grenzen 0'.00 bis 0'.10.

1. Temperaturgradient $\geq$ 0°.5, verschiedene Windstärken. Von den Kimmtiefen lagen zur Ausgleichenden Geraden an der Stelle:

Temperatur-Gradient	Lage zur Ausgleichenden		Zahl der Fälle	
			Peilbrücke	Deck
I. $t_a - t_w$	besser als bei	$t_o - t_w$	10	10
	schlechter als bei.		6	2
	gleich wie bei....		3	0
II. $t_a - t_w$	besser als bei	$t_m - t_w$	9	3
	schlechter als bei.		4	3
	gleich wie bei....		3	2
III. $t_m - t_w$	besser als bei	$t_o - t_w$	4	3
	schlechter als bei.		2	1
	gleich wie bei....		10	3

2. Alle Temperaturgradienten, Windstärke = 0. Von den Kimmtiefen lagen zur Ausgleichenden Geraden an der Stelle:

Temperatur-Gradient	Lage zur Ausgleichenden		Zahl der Fälle	
			Peilbrücke	Deck
I. $t_a - t_w$	besser als bei	$t_o - t_w$	7	7
	schlechter als bei.		3	1
	gleich wie bei....		7	5
II. $t_a - t_w$	besser als bei	$t_m - t_w$	7	3
	schlechter als bei.		2	1
	gleich wie bei....		8	9
III. $t_m - t_w$	besser als bei	$t_o - t_w$	1	2
	schlechter als bei.		2	1
	gleich wie bei....		14	10

Zu den Fällen I beider Tabellen: Ein Unterschied der Brauchbarkeit der verschiedenen Lufttemperaturunterschiede gegen das Wasser zwischen der Peilbrücke und an Deck besteht nicht. $t_a - t_w$ ist im Mittel in 63 %, bei Wind = 0 in 47 % der Fälle überlegen.

Zu II. Das Ergebnis entspricht im wesentlichen I.

Zu III. Masttemperatur und Temperatur ½ m über Wasser sind gleich gut.

Die Temperaturschichtung zeigen Abb. 14 bis 23.

Die Wassertemperatur lag stets über derjenigen der Luft.

Zu der Gruppe $t_a - t_w$ günstiger als t_o t_w rechnen die Gradienten: Nr. H 10, 13, 23, 25, 26*, 27, 28*, 33*, 37*, 38, 39*, 62*, 63*, 64*, 65, 68*, 70, 71*, 74, 89, 90, 91*, 94*, 94a*, 95.

Die Mittelwerte sind für die Beobachtungen auf:

Peilbrücke . $t_o - t_w = 2°.23$, $t_a - t_w = 2°.72$, $t_m - t_w = 2°.63$;

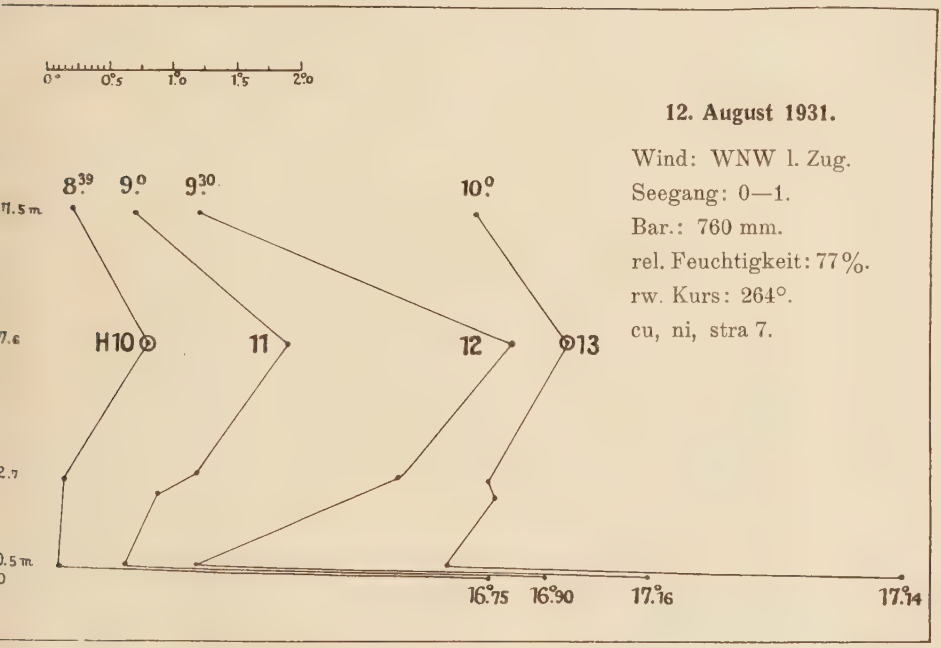
Deck . . . $t_o - t_w = 1°.97$, $t_a - t_w = 2°.59$, $t_m - t_w = 2°.11$.

Zu der Gruppe $t_a - t_w$ ungünstiger als $t_o - t_w$ gehören: H 15*, 17, 23*, 31, 32*, 99, 100*, 102[1]) mit den Mittelwerten:

Peilbrücke . $t_o - t_w = 2°.28$, $t_a - t_w = 1°.19$, $t_m - t_w = 2°.08$;
Deck . . . $t_o - t_w = 2°.73$, $t_a - t_w = 2°.57$, $t_m - t_w = 2°.62$.

Man erkennt leicht, daß sich dieser Fall bis auf eine Ausnahme (H 23) stets dann ereignete, wenn die Temperatur der Augeshöhe ober-

Abb. 14.



halb derjenigen in ½ m Seehöhe lag: jener aber dann, wenn die Luft hier wärmer war (mit Ausnahme der Gradienten H 10, 13 und 30, deren Mittelwerte lauteten:

$$t_o - t_w = 2°.79,\ t_a \quad t_w = 2°.15,\ t_m - t_w = 2°.83),$$

oder mit anderen Worten: die Kimmtiefe folgte dem größeren Gradienten (Luft—Wasser) in 30 Fällen, in 4 Fällen, die der Peilbrücke zugehören, nicht. Die Masttemperatur entspricht in gleicher Weise dieser Regel.

[1]) * = gehört zu einer Kimmtiefenmessung an Deck, manchmal gleichzeitig mit einer solchen auf der Peilbrücke.

Abb. 15.

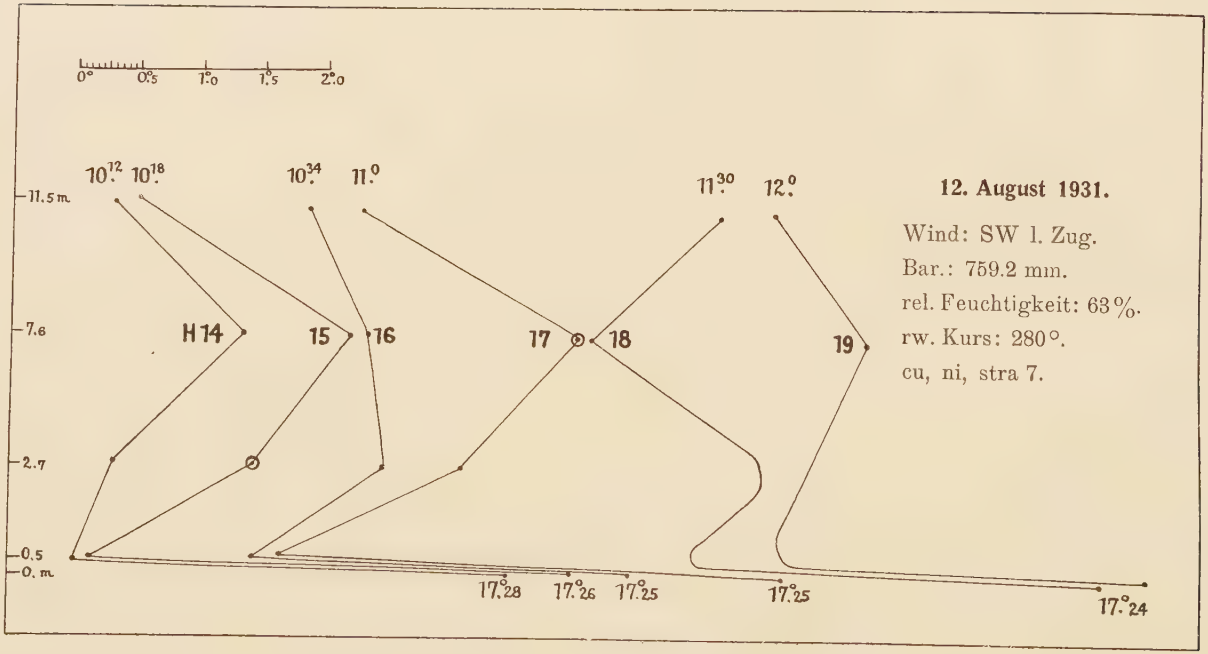
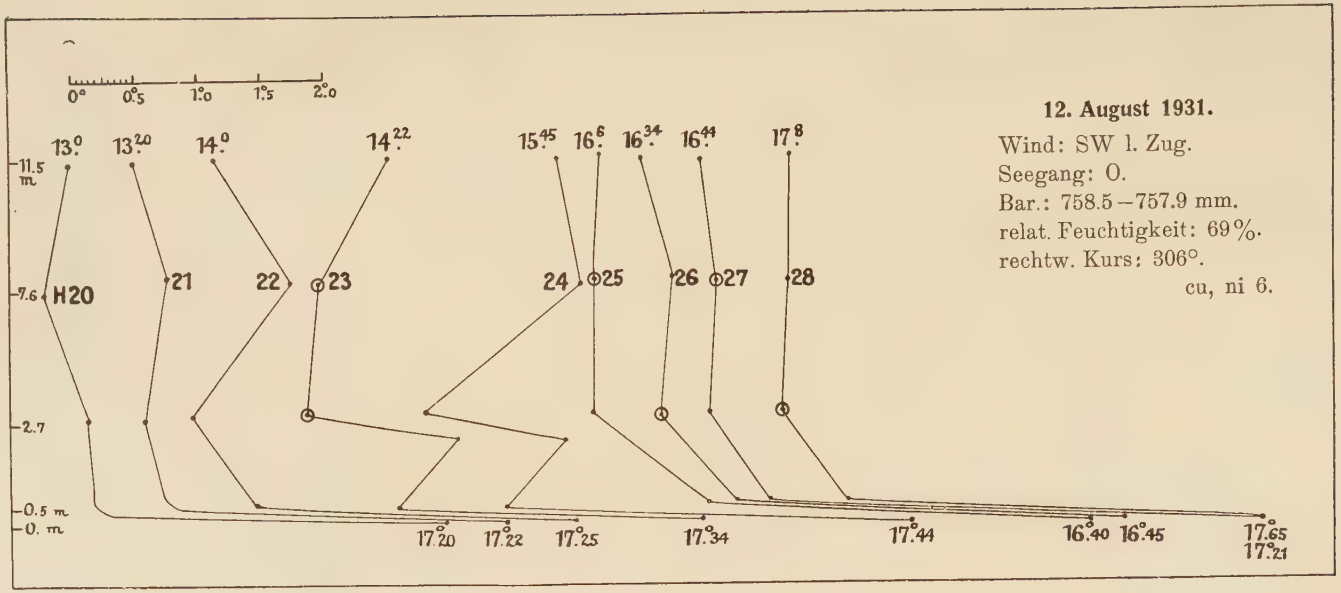
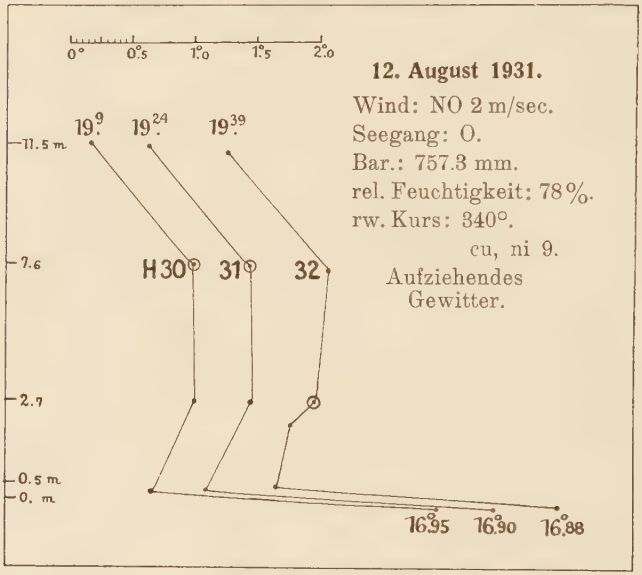

0°
0°5
1°0
1°5
2°0
10h12 10h18
10h34 11h0
11h30 12h0
11.5 m.
7.6
2.7
0.5
0. m.
H 14
15
16
17
18
19
17°28
17°26
17°25
17°25
17°24
12. August 1931.
Wind: SW 1. Zug.
Bar.: 759.2 mm.
rel. Feuchtigkeit: 63%.
rw. Kurs: 280°.
cu, ni, stra 7.

Abb. 16.


0° 0.5° 1.0° 1.5° 2.0°
13.0 13.20 14.0 14.22 15.45 16.6 16.34 16.44 17.8
11.5 m
7.6
2.7
0.5 m
0. m
H20 21 22 23 24 25 26 27 28
17.20 17.22 17.25 17.34 17.44 16.40 16.45 17.65 17.21
12. August 1931.
Wind: SW l. Zug.
Seegang: O.
Bar.: 758.5—757.9 mm.
relat. Feuchtigkeit: 69%.
rechtw. Kurs: 306°.
cu, ni 6.

Die Ausnahmen. 1. Gradient H 10. Die Beobachtungszeit ist 8^h 39^m am 12. August. Von 7^h bis 8^h 30^m steigen die Lufttemperaturen in allen Höhen bei fast gleichbleibender Wassertemperatur stark an, die Temperatur der Augeshöhe liegt am tiefsten (Tafel 1). Von 8^h 30^m ab setzt nur die Augeshöhentemperatur den steilen Anstieg fort, auch das Wasser erwärmt sich merklich. Die Kimm, die sich seit den frühen Morgenstunden ständig hebt, beharrt noch 1½ Stunden über die Zeit der Beobachtung hinaus in dieser Be-

Abb. 17.



wegung. um erst dann dem schon seit 8^h 30^m anwachsenden größten Temperaturgradienten zu folgen und anzusteigen. Wir haben ein typisches Beispiel einer Trägheit der Kimmtiefe vor uns, die sich daraus erklärt, daß Störungen der Lichtbahn auf Grund von Veränderungen der Wetterlage von der Temperaturmessung an Bord nicht immer sogleich erfaßt werden.

2. Gradient H 13 um 10^h 1^m gehört noch in den Abschluß dieser Zusammenhänge hinein. Dies ersieht man daraus, daß die Kimmtiefe an der Stelle des größten Temperaturgradienten nur noch um die Hälfte des Betrages von vorher (Ziffer 1) ungünstiger lag als der Gradient $t_a - t_w$, und zwar um nur 0'.12.

Abb. 18.

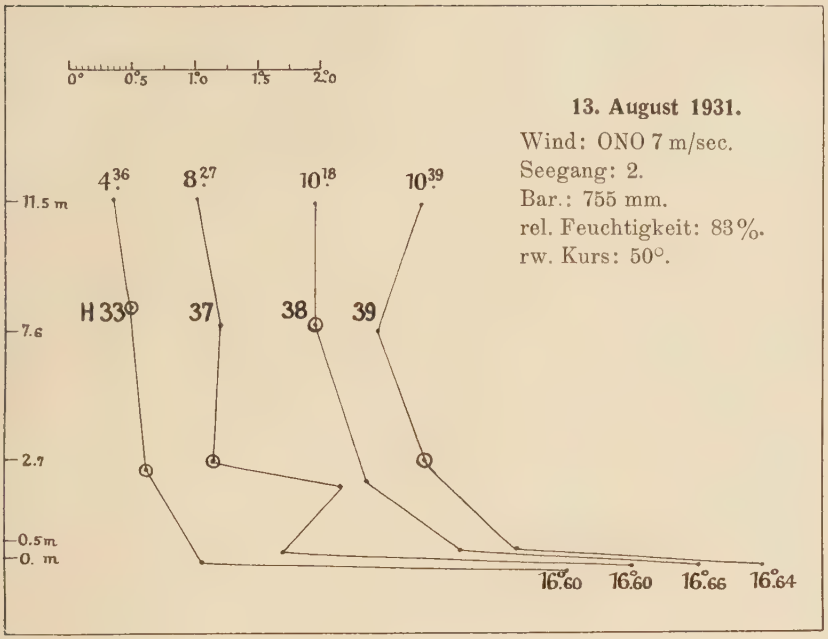
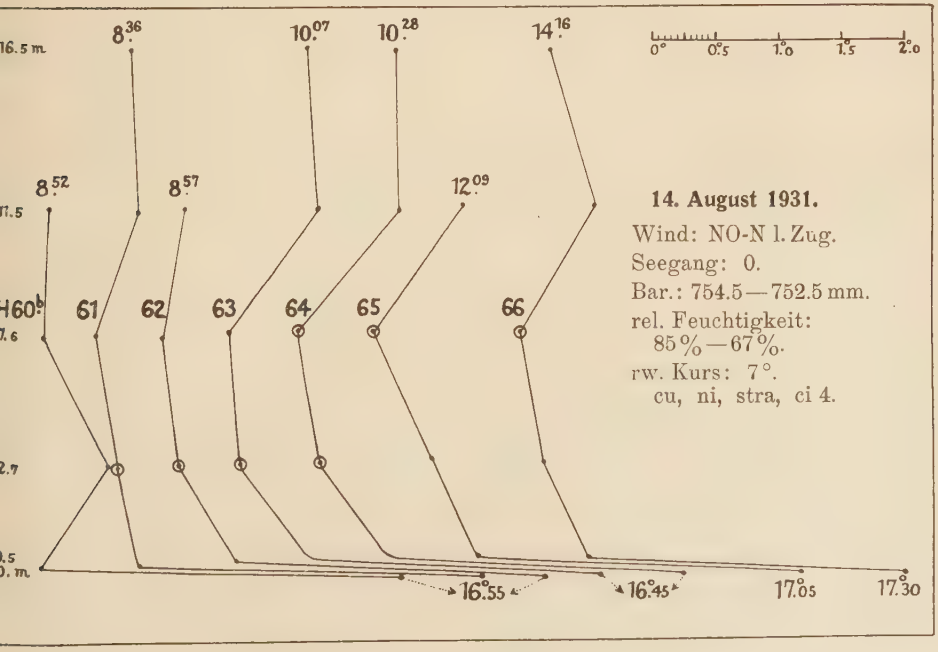
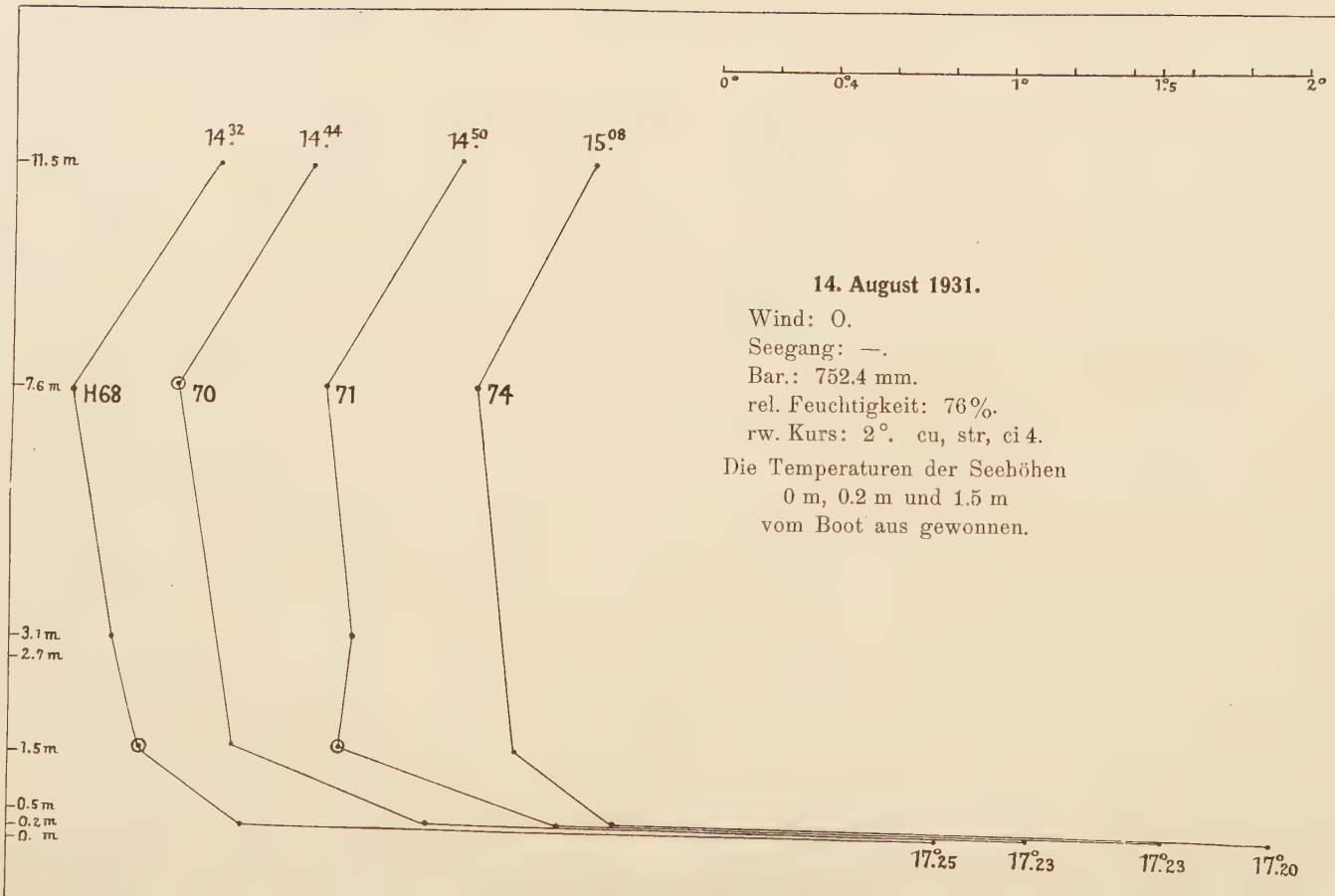

0° 0.5 1.0 1.5 2.0
13. August 1931.
Wind: ONO 7 m/sec.
Seegang: 2.
Bar.: 755 mm.
rel. Feuchtigkeit: 83%.
rw. Kurs: 50°.
4.36
8.27
10.18
10.39
11.5 m
7.6
2.7
0.5 m
0. m
H 33
37
38
39
16.60
16.60
16.66
16.64

Abb. 19.


16.5 m
8.36
10.07
10.28
14.16
0° 0.5 1.0 1.5 2.0
8.52
8.57
12.09
14. August 1931.
Wind: NO-N l. Zug.
Seegang: 0.
Bar.: 754.5—752.5 mm.
rel. Feuchtigkeit:
85%—67%.
rw. Kurs: 7°.
cu, ni, stra, ci 4.
H60
61
62
63
64
65
66
2.7
16.55
16.45
17.05
17.30



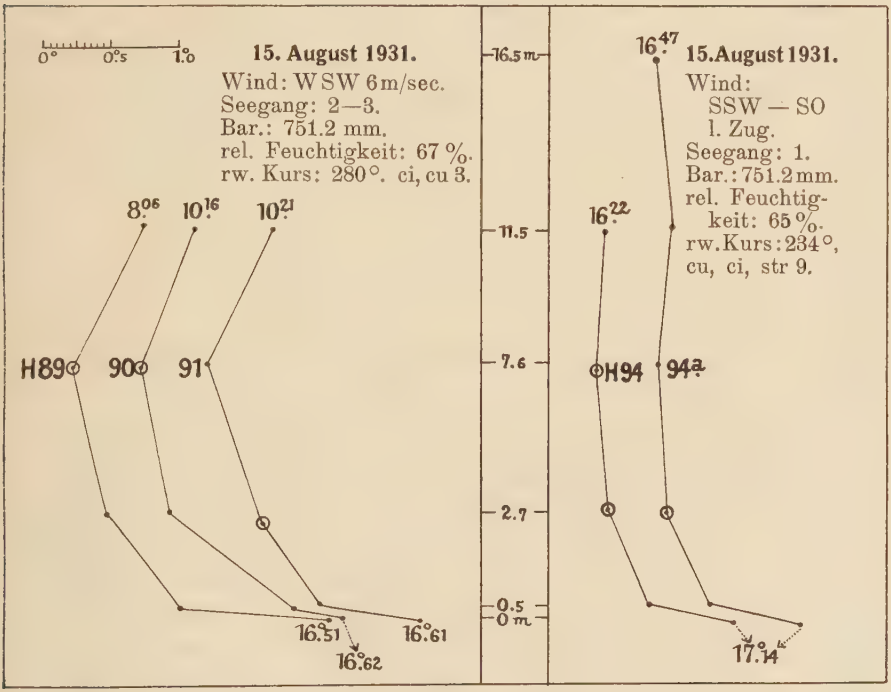
14. August 1931.

Wind: O.
Seegang: —.
Bar.: 752.4 mm.
rel. Feuchtigkeit: 76%.
rw. Kurs: 2°. cu, str, ci 4.

Die Temperaturen der Seehöhen
0 m, 0.2 m und 1.5 m
vom Boot aus gewonnen.

Mit dem Gradienten H 15 um $10^h\ 18^m$ ist der Bewegungsvorgang erloschen. Der größte Gradient ($t_l - t_w$) behauptete wieder den Vorrang: An der Stelle ($t_a - t_w$) weicht die Kimmtiefe um 0′.46 mehr als bei ($t_o - t_w$) von der Geraden ab; und dies verstärkt sich bei dem Gradienten H 17 zu dem größten Unterschied, den ich gemessen habe, zu 0′.60 um $10^h\ 34^m$. Die entsprechenden Lufttemperaturunterschiede betrugen 1°.35 und 2°.23.

Abb. 21.



3. Hinsichtlich der Masttemperatur der Gradienten H 10, 13, 15, 17 ist in dieser Frage Neues nicht zu sagen. Bemerkenswert ist, daß die Korrelation des Verlaufs der Masttemperatur und der Kimmtiefe am frühesten Morgen bei gleichbleibender Wasserwärme auf die Bedeutung des größten Gradienten hinweist.

4. Gradient H 23 um $14^h\ 22^m$ bildet nur für die Temperatur in Augeshöhe auf der Peilbrücke eine Ausnahme, er ist ein „Windstille"-Gradient; unregelmäßige Schichtung ist zu erwarten, wie sie der Gradient mit seinen Nachbarn H 22 und 24 erkennen läßt. Die

Abb. 22.

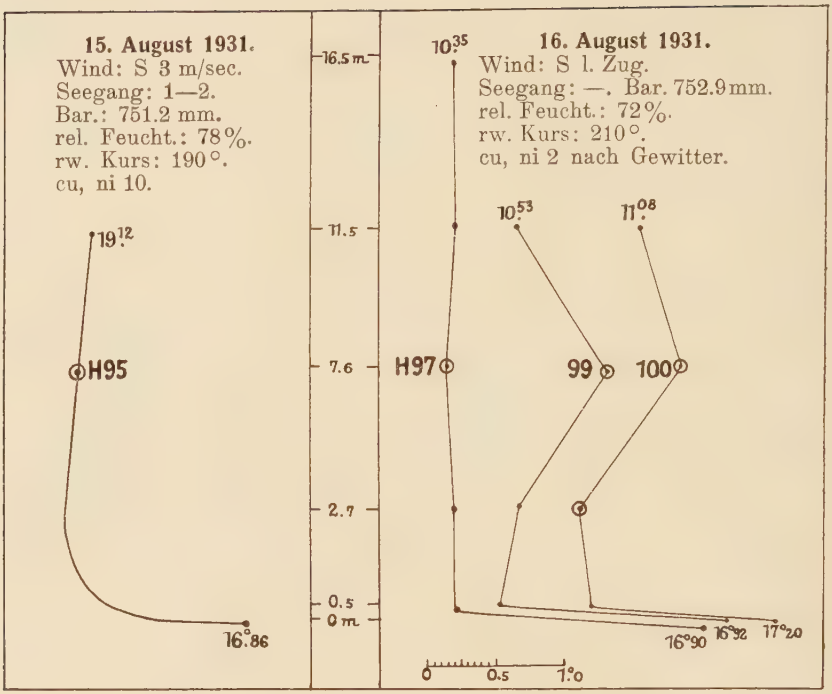
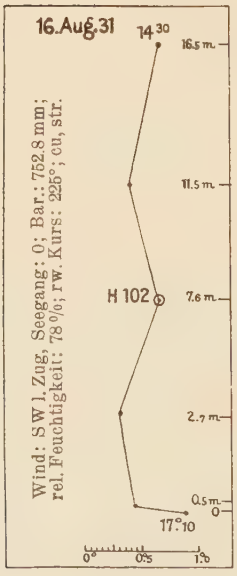


Abb. 23.



naheliegende Vermutung, daß die Abweichung bei solch starker untergeordneter Luftbewegung darin ihren Grund hat, daß sich die Untersuchung einer mittleren Kimmtiefe bedient hat, bestätigt sich. Das erste Teilmittel der Rundmessung, das 4 bis 5 Minuten vor der K_{bm} ermittelt wurde, erbrachte ausgezeichnete Übereinstimmung mit der Gleichung. In dem Unterschied der K_{bm} (5'.94) gegen den Einzelwert (6'.32) sieht man einen Ausfluß der Bewegungsvorgänge der Lufttemperatur und der Kimmen, die, wie Tafel 1 zeigt, in einander entsprechendem Ablauf erfolgte. Nachdem sich die thermische Lage beruhigt hat, finden wir in den Gradienten 25 bis 28 wiederum die Regel bestätigt.

5. Gradient H 30 gehört mit Nr. 31 und 32 meteorologisch zusammen. Mit dem Ende der Beobachtung sprang der Wind von SW

2 m/sec auf NE 2 m/sec um, ein Gewitter war im Anzug. Die kalten Luftmassen, die das Gewitter heranführte, wurden bereits in Höhe des Mastes beobachtet, die übrigen Temperaturen stiegen noch an. Die Luftschichten in Höhe des Mastes kommen für eine Beschickung der Kimmtiefen nicht in Betracht, da sich die Schiffslage erst etwa um 20 Uhr der neuen Wetterlage angepaßt hatte (Kurslage), die Gewitterluft demnach kaum schon um 19 Uhr den Luvsehstrahl zu beeinflussen vermochte. Dann streiten sich um den Vorrang als Lufttemperatur für die Beobachtung nur Oberfläche und Augeshöhe: an und für sich gebührt er der ersteren, tatsächlich hat ihn aber die andere inne, die jedoch nur eine um 0'.13 günstigere Lage der Kimmtiefe bringt, welcher Wert der Nullzone benachbart ist. Da die beiden um nur 15 und 30 Minuten späteren Werte von H 31 und H 32 das normale Bild ergeben und der Mastgradient den Gang aufzeigt:

Nr. H 30 $t_m - t_w$ um 0'.11 schlechter als $t_o - t_w$ ($t_a - t_w$ um 0'.13 besser als $t_o - t_w$)

Nr. H 31 $t_m - t_w$ um 0'.04 schlechter als $t_o - t_w$ ($t_a - t_w$ um 0'.20 schlechter als $t_o - t_w$)

Nr. H 32 $t_m - t_w$ um 0'.11 besser als $t_o - t_w$ ($t_a - t_w$ um 0'.07 schlechter als $t_o - t_w$),

so leuchtet es ohne weiteres ein, daß die Umschichtung der thermisch-optischen Eigenschaften der verantwortlichen Luftkörper allmählich und anscheinend stetig vor sich ging, wobei natürlich Sprünge und Unstetigkeitsflächen nicht ganz ausgeschlossen sein sollen.

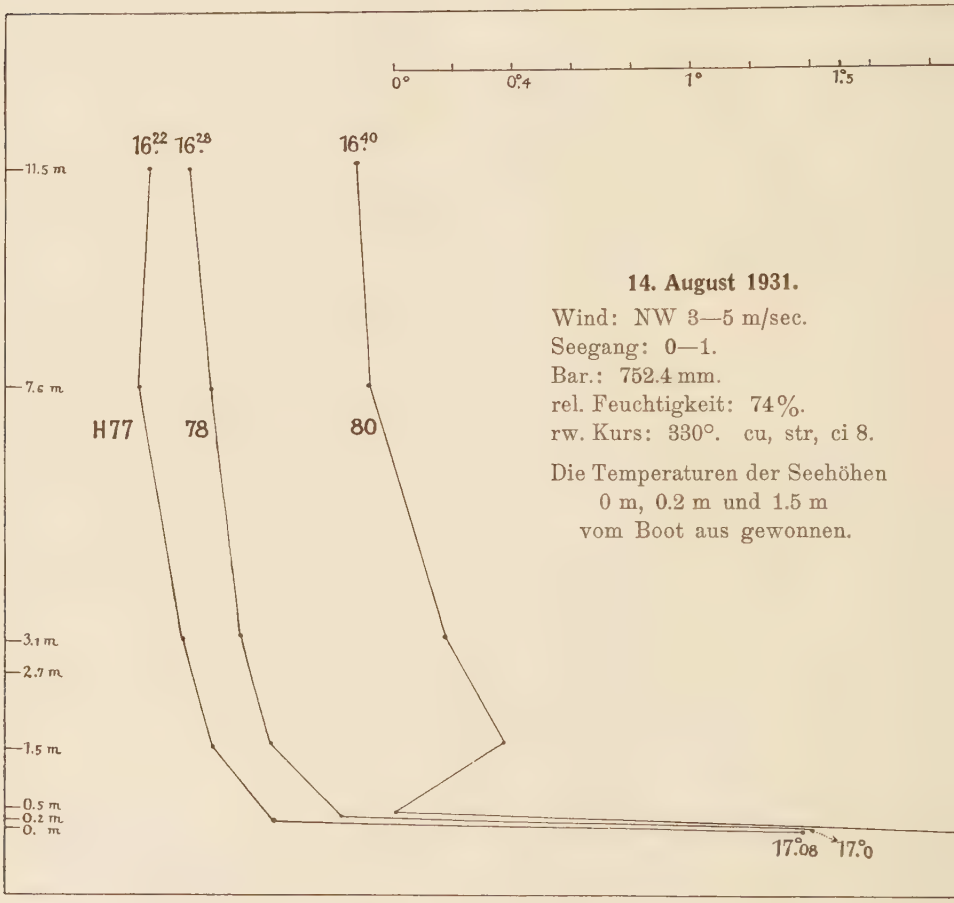
Abschließend kann gefolgert werden, daß während der „Hunte"-Zeit die Kimmtiefen das Bestreben hatten, dem größten Temperaturgradienten (Luft—Wasser) zu folgen.

Überall da, wo die Kimmtiefe dem Oberflächengradienten den Vorzug gibt, finde ich, daß in der Schicht zwischen der Oberfläche und der Augeshöhe eine Temperaturumkehr stattfindet, die mehr oder weniger ausgeprägt ist. Es handelt sich um Gradienten bei flauer Brise oder Windstille. Hierher gehören die Gradienten H 10, 13, 15, 17, 23, 31, 32, 99, 100, 102.

Weiterhin zeigen die Beobachtungen vom Boot aus, daß die Luftschicht, innerhalb der sich die vornehmlichen Brechungsvorgänge abspielen, sehr dünn zu sein und unterhalb 0.5 m zu liegen scheint. Dies würde übereinstimmen mit den Angaben von Koß, der jedoch eine zu geringe Mächtigkeit dieser Sprungschicht

ablehnen zu müssen glaubt[1]). Thorade verlegt sie noch höher als ich, bis zu 1 bis 1.5 m Seehöhe, läßt jedoch die Möglichkeit zu, daß sie auch tiefer liegt[2]). Die Vergleichsmessungen von Merz in 0.1 und 2 m und die Untersuchungen von Wüst weisen etwa auf den von mir beobachteten Wert hin[3]).

Abb. 24.

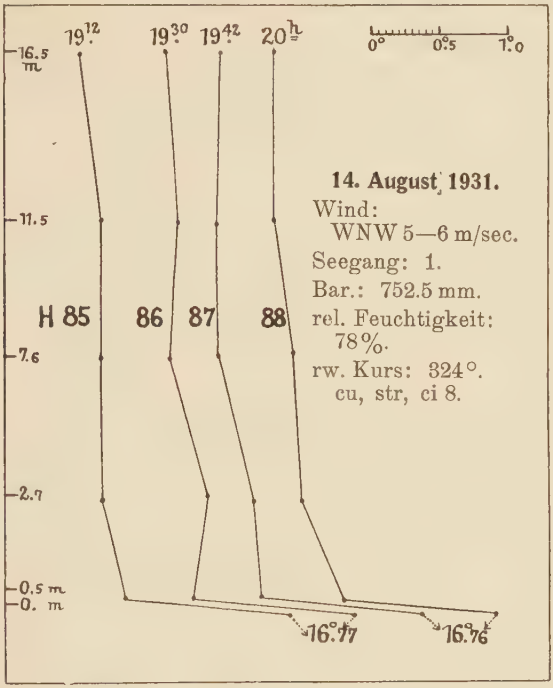


Je nach dem Unterschied der Luft- und Wassertemperatur wird dieser Wert variieren. Der Wind spielt dabei eine erhebliche Rolle wie die Gradienten H 68, 70, 71, 74, 77, 78, 80, 85, 86, 90 am 14. August und H 105. 106. 107, 111, 112, 113, 114, 115, 119, 120, 123, 124, 125, 126 am 16. August zeigen (Abb. 24 bis 26). Bei Stille oder SW leichtem Zug

[1]) L. V. 4, S. 10. — [2]) L. V. 3, S. 3. — [3]) L. V. 13, S. 70.

pendelte unter gelegentlichem Vorzeichenwechsel der untere Gradient (Luft—Wasser) hin und her, die maßgebende Sprungfläche wäre um 1.5 m herum anzunehmen; sobald aber der Wind aus gleicher Richtung stetig wurde und auf 4 m/sec auffrischte, übernahm die Seehöhe 0.5 bis 0.2 m die Rolle der Sprungfläche. Es wird also bereits mit der Luft-

Abb. 25.

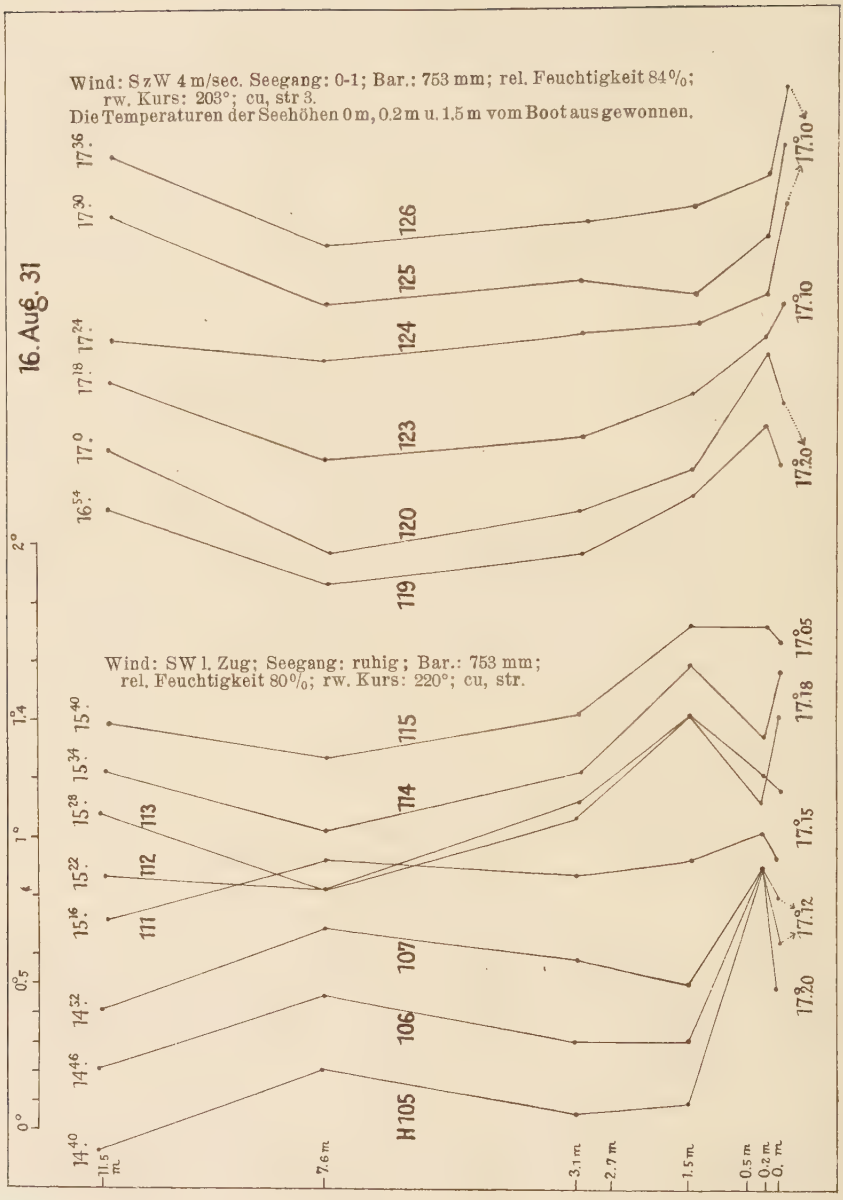


temperatur in einer Höhe von ½ bis 1 m über Wasser in der Regel der nutzbare Temperaturgradient am Ort der Beobachtung zum sehr großen Teil erfaßt. Zur Illustration diene folgende kleine Tabelle, die der Gruppe der Luftgradienten $\geqq 0°.05$ entnommen ist:

Temperatur-Gradient	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
$t_o - t_w$	— 3°.50	— 3°.23	— 3°.18	— 1°.14	— 0°.93	— 1°.85	— 1°.75
$t_a - t_o$	+ 0°.15	+ 0°.68	+ 0°.80	— 0°.09	— 0°.29	— 0°.13	+ 0°.06
$t_m - t_o$	+ 0°.66	+ 0°.11	+ 0°.02	+ 0°.01	+ 0°.23	— 0°.13	+ 0°.01

Das Wesentliche für die Kimmbeschickung wird dadurch jedoch nicht getroffen: es kommt darauf an, den thermischen Mittel-

Abb. 26.



wert längs der beiden Lichtkurven durch eine Bord
messung der Außentemperatur zu erfassen oder sich ihm so weit anzu
nähern, daß man praktisch damit arbeiten kann. Dies leistet, wie wi
sahen (S. 51). der größte Gradient (Luft—Wasser); dafür aber ein

optimale Seehöhe anzugeben, ist unmöglich. Der Nautiker muß sich von Fall zu Fall durch aufmerksames Beobachten von Wind und Wetter selber helfen.

Daß Huber[1]) aus seinen Beobachtungen eine Abhängigkeit von der Masttemperatur glaubte annehmen zu müssen, ist somit nicht so sehr verwunderlich und nur für mittlere Verhältnisse zu verwerfen. Die Masttemperatur wird, als Abschluß der Wärmereihe, praktisch immer von Wert sein.

Bei flauer Brise oder Windstille gibt Koß[2]) die Anweisung, die Temperaturdifferenz der Luft in Augeshöhe und nahe am Meeresspiegel einzusetzen, sobald eine Schichtung mit Temperaturzunahme nach oben eingetreten sei. Nun hat sich während der „Hunte"-Zeit ein solcher Zustand oberhalb der Sprungschicht nur 3mal bis zur Augeshöhe ausgebildet, das sind die Fälle der Gradienten H 13, 15, 17. Der erste dieser Fälle brachte den gleichen Nutzen für die Kimmtiefenverbesserung mit der Temperaturdifferenz $t_l - t_w$[3]) wie mit $t_o - t_a$; die beiden andern dagegen eine starke Überlegenheit des Gradienten $t_l - t_w$ trotzdem die Gradienten im Koßschen Sinn weit besser ausgebildet waren. Sonst fand ich bei keinem Windstille-Gradienten eine ausgeprägte Gestalt dieser Art und damit auch keine Bestätigung, auch nicht, wenn leichte Anzeichen einer entsprechenden Schichtung vorlagen. Es scheint so, als ob sich eine derartige ebene Schichtung über See, wenn sie auftritt, nicht erhalten kann, daß sie vielmehr durch Wirbelbewegungen der Luftkörper zerstört wird.

Damit ist eine für die Praxis sehr wertvolle Feststellung gemacht. Der Nautiker ist nämlich gar nicht in der Lage, die Temperatur nahe dem Wasser zu messen, dies ist auch keinem wissenschaftlichen Beobachter an Bord ganz einwandfrei gelungen, nur Przybyllok hat es auf dem Forschungsschiff „Deutschland" erreicht. Kipp-Thermometer werden sich an Bord wegen der Umständlichkeit des Verfahrens und der Zerbrechlichkeit des Geräts nicht einbürgern. Dagegen bedeutet es weder einen Aufwand an Zeit noch an Mühe, während der astronomischen Beobachtung das Aßmannsche Psychrometer einfach laufen zu lassen und nach beendeter Messung abzulesen.

γ) Die mittlere Formel, ihr Temperaturgradient. An und für sich zwingt die Tatsache, daß der größte Temperaturgradient je nach der Wetterlage verschiedenen Niveaus über dem Wasser entspricht, dazu, stets die Formel für die Beschickung der Kimmtiefen

[1]) L. V. 3, S. 14, 15. — [2]) L. V. 4, S. 33.
[3]) Temperaturgefälle (Luft — Wasser).

heranzuziehen, die zu dem gleichen Niveau gehört. Die gewonnenen Ausdrücke (S. 33. 38) lauten aber in Abhängigkeit von der Augeshöhe:

$$\text{Peilbrücke} \quad . \; . \quad K_{bm} = 1'.91 \sqrt{A.H.} - 0'.33\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.91 \sqrt{A.H.} - 0'.32\,(t_o^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.90 \sqrt{A.H.} - 0'.33\,(t_m^\circ - t_w^\circ),$$

$$\text{Deck} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad K_{bm} = 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.37\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.99 \sqrt{A.H.} - 0'.38\,(t_o^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.98 \sqrt{A.H.} - 0'.33\,(t_m^\circ - t_w^\circ).$$

Eine Gesetzmäßigkeit ist weder im Faktor der Augeshöhe noch im Richtungsfaktor zu erkennen. Die Peilbrückenformeln weisen völlige Übereinstimmung auf; die größten Abweichungen stellen sich bei den Decksgleichungen zahlenmäßig auf 0'.11 beim ersten Glied, und in der Neigung der Geraden auf 0'.20. Die Größenordnung bleibt also unterhalb des mittleren Fehlers. Folgende Tafel gibt die mittlere Temperatur in den verschiedenen Höhen über Wasser für den ganzen Beobachtungszeitraum:

Seehöhe	Stelle	Temperatur
0.0 m	Wasser	16°.80
0.5 m	$^1/_2$ m über Wasser	15°.04
2.7 m	Deck (Reeling)	14°.81
7.6 m	Peilbrücke	14°.83
11.5 m	Mast unten	14°.84

An der oberen Maststelle (16.5 m) wurde in 13 von 27 Fällen die Temperatur mit derjenigen der unteren Maststationen in Übereinstimmung, nur in einem Fall wärmer (+ 0°.20) und in den restlichen 13 Fällen im Mittel um 0°.14 kälter gefunden. Das Mittel zeigt einen Temperaturrückgang von 0°.06 gegen den unteren Mast, ein Wert, der füglich herausgelassen werden muß, da er auf einer wesentlich kleineren Anzahl von Messungen beruht.

Die mittleren Temperaturgänge für die Zeit von 4^h bis 22^h gibt Tafel 2. Eine Temperaturabnahme mit der Höhe von der Sprungschicht aus läßt sich nicht nachweisen.

Daraus folgt, daß die Unterschiede in dem Aufbau der Gleichungen in erster Linie auf Beobachtungsirrtümer und Unsicherheiten der Grundelemente der Berechnung zurückzuführen sind und die Formeln gemittelt werden müssen. Die Gleichungen erhalten dann folgende Form:

1. $K_{b\,m} = 1'.94 \sqrt{A.H.} - 0'.33\ (t^{\circ}_{11.5} - t^{\circ}_{w})$ [1]),
2. $= 1'.91 \sqrt{A.H.} - 0'.33\ (t^{\circ}_{7.5} - t^{\circ}_{w})$,
3. $= 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.37\ (t^{\circ}_{3.0} - t^{\circ}_{w})$,
4. $= 1'.95 \sqrt{A.H.} - 0'.35\ (t^{\circ}_{0.5} - t^{\circ}_{w})$.

Aus den bekannten Gründen (S. 55) wurde als Gebrauchsformel das Mittel aus 2 und 3 gewählt, bei denen die oberen Grenzen des Temperaturgefälles den Augeshöhen der verwendeten Kimmtiefen entsprechen. Also ist

$$K_t = 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.35\ (t^{\circ}_{l} - t^{\circ}_{w}),$$

indem wir ihre obere Gebrauchsgrenze = 8 m A. H. festsetzen und feststellen, daß sie vom Mittelwert bedeutungslos abweicht. Die allgemeine Wetterlage für die zugrunde gelegten Beobachtungen war: Lufttemperatur = 14°.9, Wasser wärmer als Luft, und innerhalb der Luft: Temperaturdifferenzen bis zu etwa 4°. Die Windstärken waren 0 bis 10 m/sec.

c) Beobachtungen auf „Adlergrund II".

α) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle. Die gemessenen Kimmtiefen wurden in gleicher Weise wie diejenigen der „Hunte" behandelt. Von vornherein war ich des starken Seegangs wegen auf erhebliche Anomalien gefaßt, doch bestand einige Hoffnung, daß das Ausmaß der Verfälschung den gesetzmäßigen Ablauf des Kimmganges nicht völlig überdecken würde, da ich beim Messen stets bemüht gewesen bin, störend scharfe Kimmzacken durch Einspielenlassen des Kimmpaares auf die Mittelwasserlinie nach Möglichkeit auszuschalten. Das Beobachtungsmaterial zeigt, daß dies leider nicht immer geglückt ist.

Der Ausgleich nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab folgende Gleichungen: t_b bedeutet Temperatur auf der Back:

		Fehler-Quadratsumme	gegen vorher	ε	Gliederzahl
	Brücke.				
$K_{b\,m}$	$= + 4'.39 - 0'.306\,(t^{\circ}_{a} - t^{\circ}_{w})$	2.5	24.2	$\pm 0'.28$	31
	$= + 4'\,52 - 0.,285\,(t^{\circ}_{o} - t^{\circ}_{w})$	1.1	24.3	$\pm 0'.22$	24
	$= + 4'.49 - 0'.286\,(t^{\circ}_{b} - t^{\circ}_{w})$	1.2	24.3	$\pm 0'.23$	26

[1]) Siehe S. 71.

		Fehler-Quadratsumme	gegen vorher	ε	Gliederzahl
	Deck.				
K_{bm}	$= +3'.29 - 0'.276\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$	2.5	35.3	$\pm 0'.22$	51
	$= +3'.32 - 0'.294\,(t_o^\circ - t_w^\circ)$	2.1	31.7	$\pm 0'.22$	45
	$= +3'.33 - 0'.303\,(t_b^\circ - t_w^\circ)$	1.5	31.2	$\pm 0'.19$	45

Werden die Ausdrücke mit den Temperaturen für die Brücke und die Back, die fast gleiche Höhe über Wasser haben, zusammengefaßt, so nehmen die Gleichungen folgende Gestalt an:

$$\text{Brücke} \quad K_{bm} = +4'.44 - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= +4'.52 - 0'.29\,(t_o^\circ - t_w^\circ).$$
$$\text{Deck} \quad K_{bm} = +3'.31 - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= +3'.32 - 0'.29\,(t_o^\circ - t_w^\circ).$$

und als Funktion der Augeshöhe (A. H.):

$$\text{Brücke} \quad K_{bm} = 1'.88\sqrt{\text{A. H.}} - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.92\sqrt{\text{A. H.}} - 0'.29\,(t_o^\circ - t_w^\circ).$$
$$\text{Deck} \quad K_{bm} = 1'.83\sqrt{\text{A. H.}} - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ),$$
$$= 1'.84\sqrt{\text{A. H.}} - 0'.29\,(t_o^\circ - t_w^\circ).$$

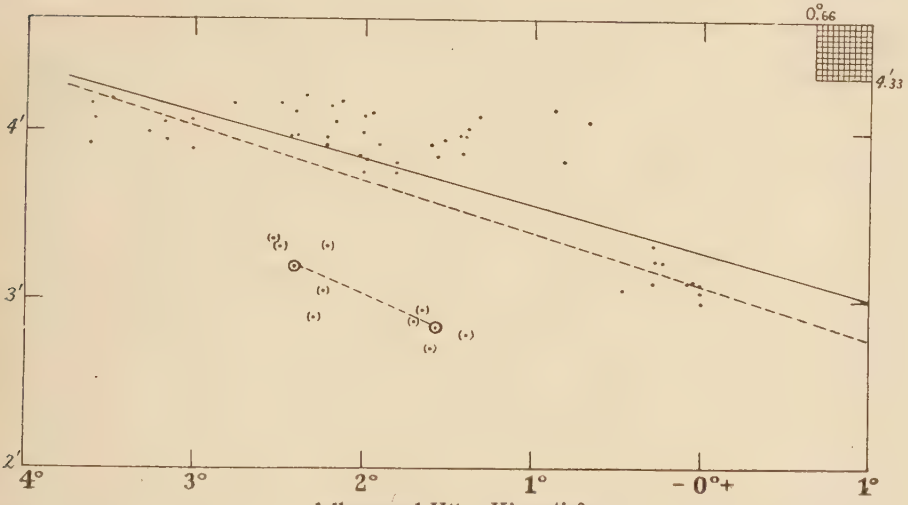
Nicht berücksichtigt wurden die Werte des 21. September, der eine Sturmkimm mit großen Zacken zeigte. Es hatte sich beim Ordnen der Beobachtungen herausgestellt, daß diese Werte als geschlossene Gruppe herausfielen (Abb. 27 und 28). Man sieht sofort, daß sie zwar relativ mit wachsendem Temperaturglied ebenso ansteigen wie die übrigen Kimmtiefen, daß sie aber sämtlich nach den niedrigen Kimmwerten zu parallel verschoben sind, und zwar um 0'.8 an Deck und auf der Brücke um ein geringeres Maß. Daraus folgt, daß der Seegang während des ganzen Tages gleichmäßig auf die Kimmlage einwirkte, was die Windmessungen und Seegangbeobachtungen bekräftigen. Dies ist wiederum ein eindrucksvoller Beweis für den vorwiegenden Einfluß des Luft-Wasser-Gradienten. Die Verschiebung entspricht einer halben Seegangshöhe von 1.6 m, ein Wert, der zwar hoch erscheint, aber in seiner Größenordnung in Anbetracht der Wirkung des Adlergrundes wohl möglich ist. Krümmel[1]) gibt als größte Wellenhöhe für die Ostsee 5.0 m an.

[1]) L. V. 14, S. 52.

Die Tafel 3 zeigt die Kimmtiefen in Abhängigkeit von der Oberflächen- und Backtemperatur. Auch hier sind einige Kimmtiefen als gestört, wie oben, fortgelassen worden.

Die Fehlerverteilung auf ein Intervall von 0′.1 bezogen, zeigt bei allen Ausgleichungen ganz deutlich 2 getrennt liegende Maxima, so daß in dem benutzten Material immer noch 2 verschieden charakterisierte Gruppen enthalten sein müssen. Dies ist in der Tat

Abb. 27.



„Adlergrund II". Kimmtiefen.

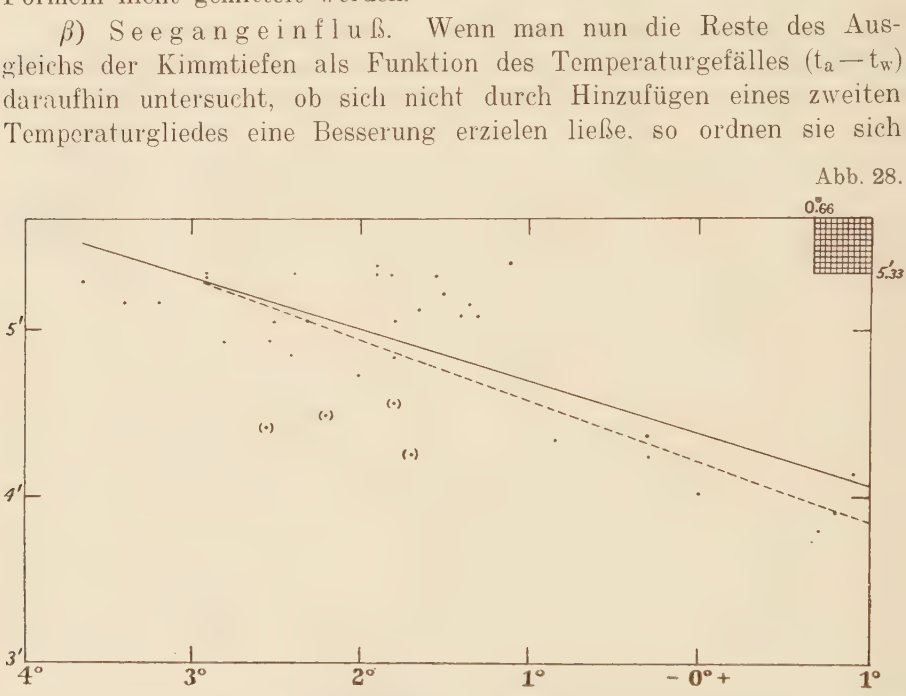
$K_{b\,m}$, Strahlungsfreie mittlere Kimmtiefe, beobachtet an Deck, als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Augeshöhe und Wasser. $K_{b\,m} = 3'.31 - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. ohne Sturmkimmen. ····· = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. mit Sturmkimmen. ⊙·····⊙ = Ausgleichende, empirisch, der Werte am 21. 9. (Wind = 15 m/sek.). · = Kimmtiefe. (·) = Kimmtiefe des 21. 9. bei starkem Seegang.

der Fall. Denn von der Brücke ausgehend, erhält man für die Formel mit dem Temperaturgradienten $(t_o^\circ - t_w^\circ)$ einen anderen Wert als mit Hilfe der Beobachtungen an Deck. Im Richtungsfaktor gleich, weichen die Koeffizienten der Augeshöhe um 8 Stellen der 2. Dezimale ab. Das kann durch Beobachtungsungenauigkeiten nicht mehr erklärt werden; die Ursache erkennt man aber unschwer im Seegang, dessen kimmhebender Einfluß der niedrigeren Augeshöhe wegen bei Decksbeobachtungen im Verhältnis 3 : 2 mehr wirksam wird als für die Brückenwerte. Von den benutzten Beobachtungswerten an Deck sind noch eine ganze Reihe gestört. Also sind die Faktoren der Augeshöhen in den Deck-

formeln zu klein, während die Brückenbeobachtungen, soweit sie Verwendung fanden, nur in geringerem Ausmaß verfälscht sein können. Daher dürfen die für die beiden Beobachtungsstandpunkte gefundenen Formeln nicht gemittelt werden.

β) Seegangeinfluß. Wenn man nun die Reste des Ausgleichs der Kimmtiefen als Funktion des Temperaturgefälles $(t_a - t_w)$ daraufhin untersucht, ob sich nicht durch Hinzufügen eines zweiten Temperaturgliedes eine Besserung erzielen ließe, so ordnen sie sich

Abb. 28.



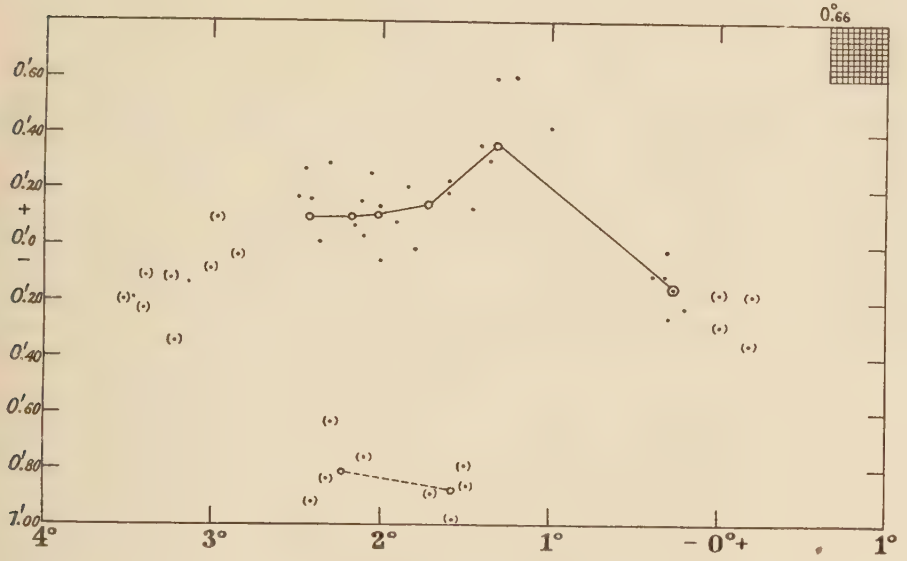
„Adlergrund II". Kimmtiefen.

$K_{b\,m}$, Strahlungsfreie mittlere Kimmtiefe, beobachtet auf der Brücke, als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Augeshöhe und Wasser. $K_{b\,m} = 4'.44 - 0'.29\,(t_a^\circ - t_w^\circ)$. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. ohne Sturmkimmen. ····· = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. mit Sturmkimmen. · = Kimmtiefe. (·) = Kimmtiefe des 21. 9. bei starkem Seegang.

in eigentümlicher Weise an (Abb. 29). Mit Sicherheit läßt sich hieraus eine Beziehung nicht ableiten. Die Reste der an Deck gemessenen Sturmkimmtiefen des 21. September (Windstärke bis 15 m/sec) liegen im Mittel um 0'.8 unterhalb der gar nicht oder nur wenig gestörten Kimmen (s. auch Abb. 27, 28). Die beiden Gruppen von Kimmtiefenresten, die an anderen Tagen bei stärkerem Seegang (Windstärke 8 bis 9 m/sec, Seegang 4 bis 5) gewonnen wurden, weichen zwar erheblich weniger von den normalen Werten ab, verfälschen aber immer noch in hohem Maße die gesetzmäßige Abhängigkeit der Reste von den Temperaturgradienten. Dieser Einfluß ist auch in dem Ergebnis des Ausgleichs

der Kimmtiefen selbst (S. 58) enthalten, so daß in den Decksgleichungen die ausgleichende Gerade zu tief liegt und zu flach verläuft. Ähnliche Verhältnisse liegen auch bei den Brückenbeobachtungen vor, mit dem Unterschied, daß das Absolutglied nur wenig, der Richtungsfaktor dagegen erheblich verkleinert worden ist. Daß bei dieser Erscheinung in der Tat, abgesehen von Meßfehlern, allein der Einfluß des Seegangs wirksam ist, geht aus folgendem hervor. Die erste Morgenbeobachtung

Abb. 29.



„Adlergrund II". Kimmtiefen.

Unterschied zwischen $K_{b\,m}$, strahlungsfreiem Mittel, beobachtet an Deck, und dem errechneten Wert = 3'.31 — 0'.29 $(t_a^\circ - t_w^\circ)$ als Funktion des Unterschiedes der Temperatur 0,5 m über Wasser und des Wassers. ⊙——— = Gruppenmittel der seegangsfreien Kimmtiefen. ·····○ = Gruppenmittel der Sturmkimmen. · = Kimmtiefe. (·) = Kimmtiefe bei stärkerem Seegang, davon die niedrigste Gruppe am 21. 9.: Sturmkimmen.

des 21. September ergab bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/sec normale Kimmtiefen, schon bei der nächsten Messung, die nach starkem Aufbrisen erfolgte, hatte sich die Kimm um 0'.8 gehoben. In entsprechender Weise wechselten am 22. September die Restabweichungen gleichzeitig mit einem Abflauen stärkeren Windes ihr Vorzeichen nach der positiven Seite hin; das gleiche zeigte sich am 20. September.

Unter diesen Umständen nahm ich davon Abstand, die Reste der

„Adlergrund"-Kimmtiefen formelmäßig darzustellen, da ich es ablehnen mußte, Seegangkorrekturen einzuführen (s. S. 16).

γ) Der günstigste Temperaturgradient. Ganz allgemein durften demnach die „Adlergrund II"-Werte quantitativ nicht verwertet werden; auch bei qualitativen Untersuchungen war Vorsicht geboten. So verzichtete ich auf eine umfassende Nachprüfung der Wertigkeit der verschiedenen senkrechten Temperaturgradienten für eine Kimmtiefenbeschickung und nahm nur eine Stichprobe vor, indem ich allein die mit großer Wahrscheinlichkeit ungestörten Kimmtiefen heranzog.

Es ergab sich bei 24 von 29 Fällen das Primat des größeren Gradienten (Luft—Wasser). Ein Gleiches fand ich ohne Ausnahme, als ich 13 Kimmtiefen auf ihre Abhängigkeit von der Lufttemperatur im Wärmefeld des Schiffes untersuchte. Dies Ergebnis war recht merkwürdig, da ich die betreffenden Kimmtiefen mitten aus dem Wärmefeld heraus beobachtet hatte — ich stand an windgeschützter Stelle des Decks hinter dem Brückenaufbau —, und die Temperaturunterschiede binnenbords und außen beträchtlich waren (bis zu 2°). Es wäre zu erwarten gewesen, daß der Kimmstrahl beim Eintritt in den wärmeren Schiffsbereich erheblich beeinflußt werden würde; im Gegensatz zu den Beobachtungen hätte sich bemerkbar machen müssen, daß die höhere Lufttemperatur, d. h. der kleinere Gradient (Luft—Wasser), für den Wert der Kimmtiefe maßgebend wäre. Daß ein solcher Einfluß vorhanden ist, unterliegt keinem Zweifel, er scheint aber nur dann in Erscheinung zu treten, wenn der Kimmstrahl längere Zeit der Schiffswärme ausgesetzt war, wie es beim Messen der Längsschiffskimm häufig vorkommen wird, für die denn auch eine relativ zur Querkimm höhere Lage abgeleitet wurde (S. 30). In der größeren Mehrzahl aller Fälle wird sich die Einwirkung infolge des inhomogenen Aufbaues des Wärmefeldes nur in der Größe der zufälligen Fehler zeigen.

δ) Das mittlere Temperaturgefälle. Die mittleren Temperaturen der Beobachtungstage 20., 22., 23. September waren:

Höhe m	Stelle	Temperatur	
0	Wasser	10°.88	
0.5—1.0	Oberfläche	10°.49	nicht ganz sicher
3.25	Deck (Reeling)	10°.38	
5.55	Brücke	10°.29	
5.15	Back	10°.47	

d) Vergleich der Ergebnisse beider Schiffe.

Faßt man die beiden Formeln für Brücken- und Decksbeobachtungen auf „Adlergrund II“ zu je einem mittleren Ausdruck zusammen, so folgt:

„Hunte“:

a) Gemittelte Formel: $K_t = 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.35 (t_l^\circ - t_w^\circ)$

„Adlergrund II“:

b) Brücke: $K_t = 1'.90 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_l^\circ - t_w^\circ)$

c) Deck: $K_t = 1'.84 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_l^\circ - t_w^\circ)$

Aus der Diskussion der „Adlergrund II“-Beobachtungen geht hervor, daß die Formel c) zum Vergleich nur insoweit herangezogen werden darf, als aus der Tatsache, daß sowohl der Augeshöhen- wie der Richtungsfaktor viel zu klein ausgefallen ist, folgt, daß sie stets zu kleine Werte liefern muß. Andererseits haben wir gesehen, daß der Augeshöhenkoeffizient der Formel b) nur wenig, und zwar ebenfalls im Sinne einer Verkleinerung der Kimmtiefe, gestört erscheint, daß dagegen der Richtungsfaktor offenbar in gleicher Weise und in demselben Ausmaß wie bei Formel c) verfälscht ist: leitet man Kimmtiefen mit der Formel b) ab, so wird man meist Werte erhalten, die sich dem wahren Wert befriedigend annähern.

Während der Beobachtungszeit auf „Adlergrund II“ bewegten sich Windgeschwindigkeit und Seegang in den Grenzen: Wind (NW)—NE; (5) bis 15 m/sec; Seegang: Stärke 3 bis 7.

Auf „Hunte“ verteilen sich die Wetterlagen viel günstiger: Beobachtungsperiode 7½ Tag, davon hatten 3 Tage Windstärken von 0 bis 4 m und 4 Tage Windstärken von 0 bis 6 m/sec aufzuweisen. Die höchste, vereinzelt beobachtete Windgeschwindigkeit betrug 8 bis 10 m/sec. Dazu kommt noch der beträchtlich höhere Beobachtungsstand auf der Peilbrücke, auf der die weitaus größte Zahl der Messungen gemacht wurde. So ist es erklärlich, daß sich hier in keinem Fall ein Seegangseinfluß hat nachweisen lassen.

Auffällig ist die Größe des Faktors der Augeshöhe = 1'.92. Er deckt sich fast mit dem Wert 1'.93 der reinen geodätischen Kimmtiefe. Der Grund dafür könnte in einer fehlerhaften Augeshöhe gesucht werden. Abgesehen von der Sorgfalt, mit der die Augeshöhen ermittelt worden sind, wäre dann aber nicht einzusehen, wie solche Fehler in gleichem Sinne und ähnlicher Größenordnung auf beiden Schiffen haben auftreten können. Auch eine persönliche Gleichung von mir könnte verantwortlich gemacht werden.

Dem steht entgegen, daß sich eine Reihe von Kimmtiefen der Hilfsbeobachter ohne Zwang meinen Beobachtungen einfügen ließen und daß meine Beobachtungen bei den zahlreichen Kontrollmessungen merkbare systematische Fehler nicht zeigten.

Schließlich muß die Frage, ob es sich dabei um einen Einfluß der Instrumentalfehler (Eichung) handeln könnte, geklärt werden. Nach den Ergebnissen der laufenden Vergleichsmessungen zwischen beiden Geräten und den sonstigen Vorsichtsmaßregeln kann die Frage schon jetzt mit ziemlicher Sicherheit verneint werden. Volle Klarheit wird jedoch erst nach der Auswertung der astronomischen Beobachtungen gewonnen werden können (s. S. 103). Die gemittelte „Hunte"-Formel gibt nach allem die Zusammenhänge zwischen den Kimmtiefen und Temperaturen für beide Beobachtungszeiträume zuverlässig wieder. Sie gilt für mittlere Temperaturverhältnisse, da die mittlere Temperatur für die „Hunte"-Zeit mit 14°.9 und für die „Adlergrund"-Zeit mit 10°.4 errechnet wurde. Eine Reduktion der Koeffizienten auf 15° erübrigt sich[1]). Daß bei starkem Abweichen der allgemeinen Lufttemperatur von der Mittellage eine zusätzliche Beschickung erforderlich wird, ist anzunehmen[2]), aus den vorliegenden Beobachtungen kann darüber aber nichts geschlossen werden. Dieser Punkt muß bei zukünftigen Untersuchungen im Auge behalten werden.

Das Ergebnis ist dahin auszulegen, daß in allen Fällen, in denen $\Delta\, t° = 0$ ist, die reine geodätische Kimm in die Messung eingeht, d. h. daß dann in diesen niedrigen Augeshöhen die Lichtkurve als geradlinig angesehen werden kann, was der Annahme einer Dichtekonstanz in der Senkrechten gleichkommt.

Bisher sind Refraktionskoeffizienten Null über Land von Gauß (zwischen $+ 1'.21$ und $- 0'.11$ und Delambre[3]) (zwischen $+ 0'.60$ und $- 0'.01$) gefunden worden; dagegen über Wasser, soweit mir bekannt, allein von Lingg am Starnberger See in einem Bereich von $- 0'.3$ und $+ 0'.3$ für eine Augeshöhe von 2 m[4]).

e) Beziehung zu weiteren meteorologischen Elementen.

α) Der tägliche Gang. Bei den Restabweichungen der Kimmtiefen gegen die mittlere „Hunte"-Formel fand ich zu dem Sonnenazimut die Beziehung, daß die Kimmtiefenanomalien morgens und abends unterhalb, mittags oberhalb der Abszissenachse lagen, mi

[1]) L. V. 5, S. 536. — [2]) L. V. 4, S. 33.
[3]) L. V. 15, S. 209. — [4]) L. V. 16 und 17, S. 163.

einem Maximum bei einem Azimut von 180°, d. i. beim höchsten Sonnenstand (Abb. 30). Die Funktion durchstreicht die Nullstelle 30° vor und nach der Sonnenkulmination. Die Schwingung hat eine Ausweitung von etwa 0′.22.

Setzt man die Sonnenkimm ein, so kann man von einem offensichtlichen Gang nicht sprechen; doch sieht man deutlich, daß weder eine lineare Beziehung vorhanden ist, noch daß die Gruppen nur zufälligen Fehlern ihre Lage verdanken. Das Maximum gegen Mittag ist zu erkennen.

Abbildung 31 stellt das Gleiche mit den Restabweichungen des „Adlergrund"-Materials dar. Es ergibt sich eine Abhängigkeit wie auf „Hunte", sowohl beim Brücken- wie beim Deckmaterial; die Ausweitung der halben Schwingungen ist von gleicher Größenordnung wie auf „Hunte", das Maximum tritt in den Mittagsazimuten ein. Die gesonderten Gruppen der Sturmkimmen zeigen die gleiche Erscheinung. Wenn die größte Erhebung der Kurve auch nur etwa 0′.2 bis 0′.3 groß ist, so ist dies doch ein Betrag, der seiner Größenordnung nach den mittleren Fehler einer Messung erreicht oder überschreitet. Deshalb darf man offenbar dem täglichen Gang der Kimmtiefen die Realität nicht absprechen; die Bestätigung durch das Höhenmaterial der Gestirne muß aber noch abgewartet werden.

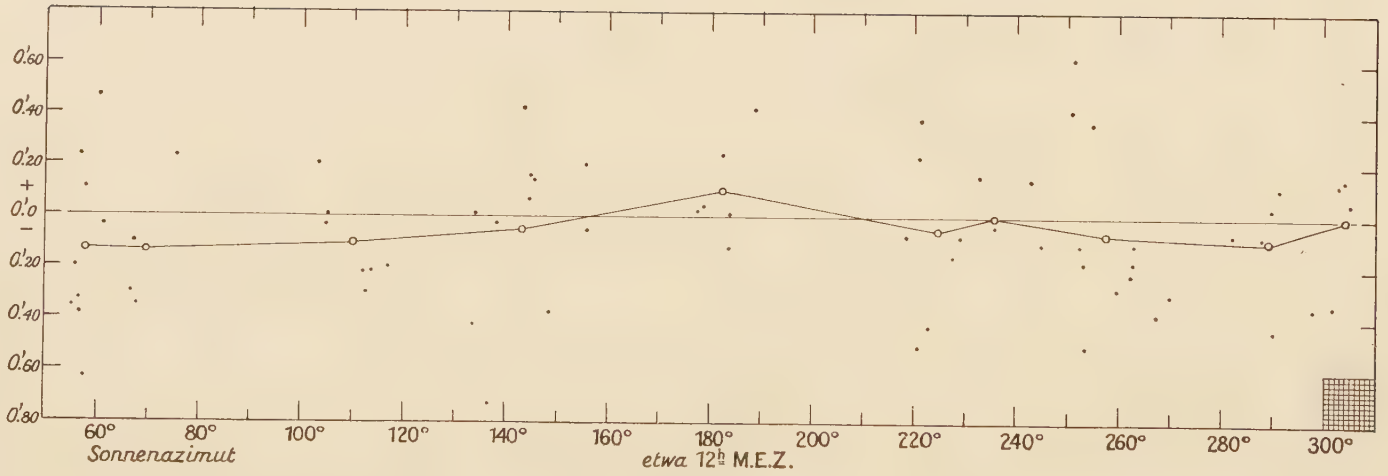
β) Einfluß des Luftdrucks. Den Luftdruck den Untersuchungen nutzbar zu machen, war nicht möglich, da während der Beobachtungsperiode auf „Hunte" nur geringe Luftdruckschwankungen nahe 760 mm aufgezeichnet wurden; für das „Adlergrund II"-Material verbot es sich von selbst. Es wäre auch nicht zu erwarten gewesen, daß der Formelausdruck nennenswert beeinflußt worden wäre, selbst dann nicht, wenn kräftigere Unterschiede aufgetreten wären. Denn schon Koß konnte aus seinen Beobachtungen, die sich über etwa ein Jahr erstreckten, folgern, daß der Luftdruck keinen merklichen Einfluß auf die Kimmtiefe hat[1]).

γ) Einfluß der Luftfeuchtigkeit. Auch vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft war eine erhebliche Einwirkung auf die Kimmlagen nicht anzunehmen[2]). Da eine quantitative Untersuchung hierüber aber nicht vorlag, und um eine Leistungsprobe für das Material zu machen, wurde die Abhängigkeit der Kimmtiefenreste der „Hunte" von der relativen Feuchtigkeit = f näher verfolgt und unter Zugrundelegung einer linearen Beziehung:

$$K_b - K_r = a + b \cdot f$$

[1]) L. V. 4, S. 33. — [2]) L. V. 4, S. 33; L. V. 3, S. 9.

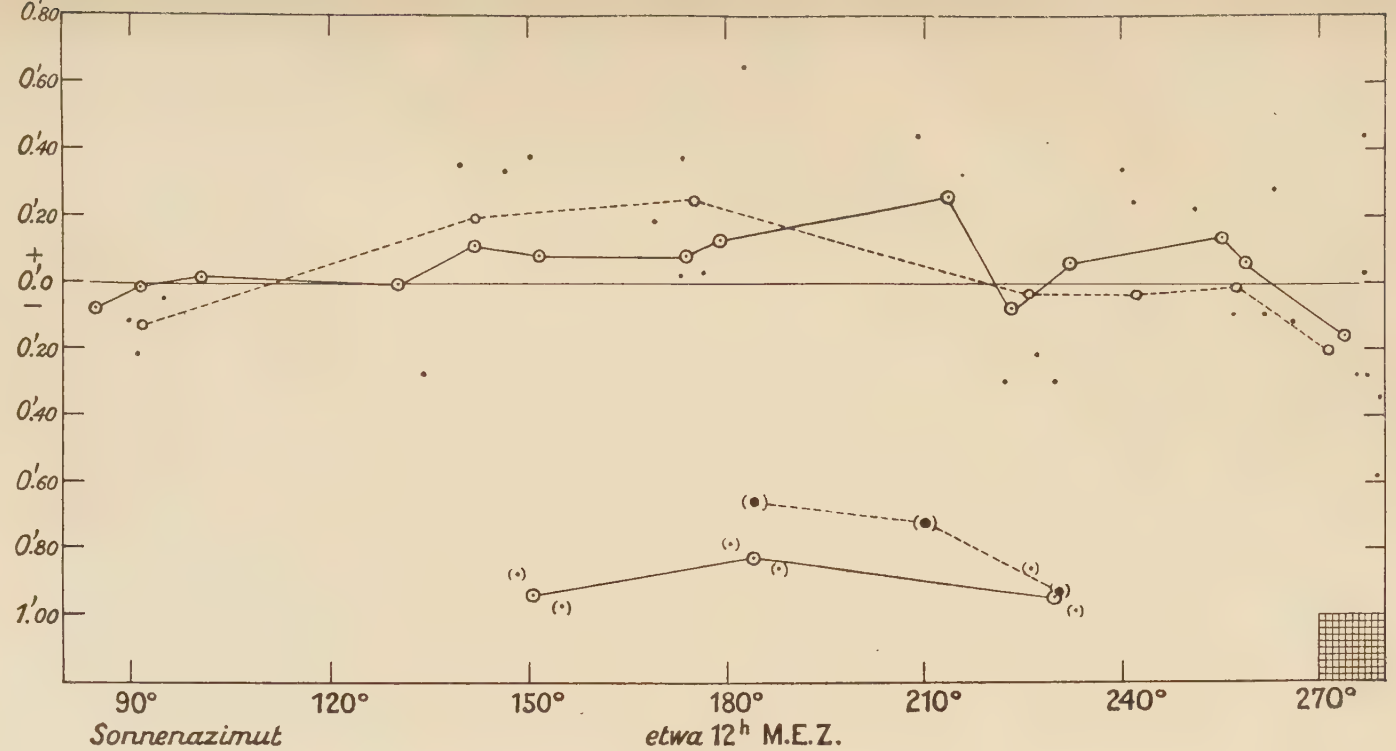
Abb. 30.



„Hunte".

Unterschied zwischen K_{bm}, beobachtet auf der Peilbrücke, und dem errechneten Wert $[5',3 - 0',33\ (t^{\circ}_{a} - t^{\circ}_{w})]$ als Funktion des Azimuts der Sonne.

· = Kimmtiefenreste. ○ = Gruppenmittel.



„Adlergrund II".

Unterschied zwischen beobachteter und berechneter Kimmtiefe als Funktion des Sonnenazimuts. · = Werte, beobachtet auf Brücke. (·) = Werte, beobachtet am 21. 9. bei starkem Seegang an Deck. (•) = Wert, beobachtet am 21. 9. bei starkem Seegang auf Brücke. ———⊙ = Gruppenmittel aller „Adlergrund"-Werte. $^{(\cdot)}\odot_{(\cdot)}$ = Gruppenmittel der Werte bei starkem Seegang an Deck. ○- - - - = Gruppenmittel der Werte der Brücke.

nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Das Ergebnis war:

„Hunte“: A. H = Deck

$$K_b - K_r = + 0'.58 - 0'.0072\,f \qquad \varepsilon = \pm 0'.28.$$

Fehlerquadratsumme 2.7 gegen vorher 3.2,

Fehlerverteilung.

Intervall 0'.1	Gliederzahl = 1	
Intervalle	Gliederzahl 34	
— 0'.05 bis + 0'.05	0.28	
zwischen 0'.06 und 0'.15	+ 0.06	— 0.03
„ 0'.16 „ 0'.25	+ 0.11	— 0.11
„ 0'.26 „ 0'.35	+ 0.11	— 0.09
„ 0'.36 „ 0'.45	+ 0.06	— 0.06
„ 0'.46 „ 0'.55	+ 0.00	— 0.06
> 0'.56	+ 0.02	— 0.02
Σ	+ 0.36	— 0.37

Daraufhin wurden auch die Brückenwerte herangezogen, das Material in Gruppenmittel zusammengefaßt und ein bestätigendes Resultat erhalten (Abb. 32).

Mit den „Adlergrund II“-Werten wurde ebenso verfahren. Ich erhielt:

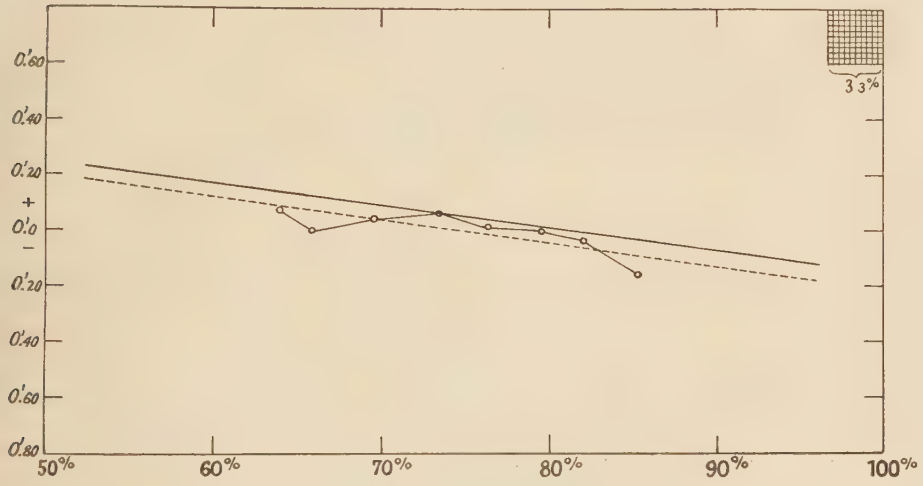
Adlergrund II (Abbildung 33)	Fehler-Quadratsumme	gegen vorher	mittlere Fehler	Glieder
A. H. Deck:				
$K_b - K_r = + 0'.37 - 0'.0049\,f$	2.4	2.8	$\pm 0'.22$	49
A. H. Brücke:				
$K_b - K_r = + 0'.63 - 0'.0079\,f$	1.8	2.3	$\pm 0'.26$	37

Auch die Seegangkimmen machen den Gang in ihrer Sonderlage richtig mit. Die Brückenformel von „Adlergrund II“ stimmt mit der Decksformel der „Hunte“ sehr gut überein. Die Augeshöhen sind ja auch nicht so sehr verschieden und die Brückenkimmtiefen auf „Adlergrund II“ nicht erheblich gestört. Die „Adlergrund II“-Decksformel entspricht der Größenordnung nach ebenfalls der gefundenen Beziehung. Da die mittleren Fehler recht gute sind und die Quadratsummen der Fehler trotz der kleinen Absolutbeträge der Koeffizienten durch den Ausgleich sämtlich sogar eine Verbesserung erfahren, ist das Ergebnis ohne Zweifel reell.

Wenn die relative Feuchtigkeit = 0 ist, liefert der Ausdruck eine Verbesserung von + 0′.6, dagegen bei f = 100 % eine solche von — 0′.18. Die Nullstelle liegt bei 80 % relativer Feuchtigkeit in Übereinstimmung mit dem mittleren Wert unserer Breiten ($\varphi = 50°$ bis 60° N) zu 78 %[1]).

Die Luftfeuchtigkeit wird daher für Kimmtiefenbestimmungen der Nautik nicht benötigt, ist jedoch bei feineren Untersuchungen — gegebenenfalls nur bei abnorm trockenen Tagen — anzuwenden; z. B. be-

Abb. 32.



„Hunte".

Unterschiede der beobachteten und berechneten K_{bm}, strahlungsfreiem Mittel, als Funktion der relativen Feuchtigkeit. $K_b - K_r = + 0.'58 - 0.'0072f$.
○ = Allgemeines Gruppenmittel. - - - - = Ausgleichende Gerade, empirisch gefunden.
——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. der an Deck beobachteten Kimmtiefenreste.

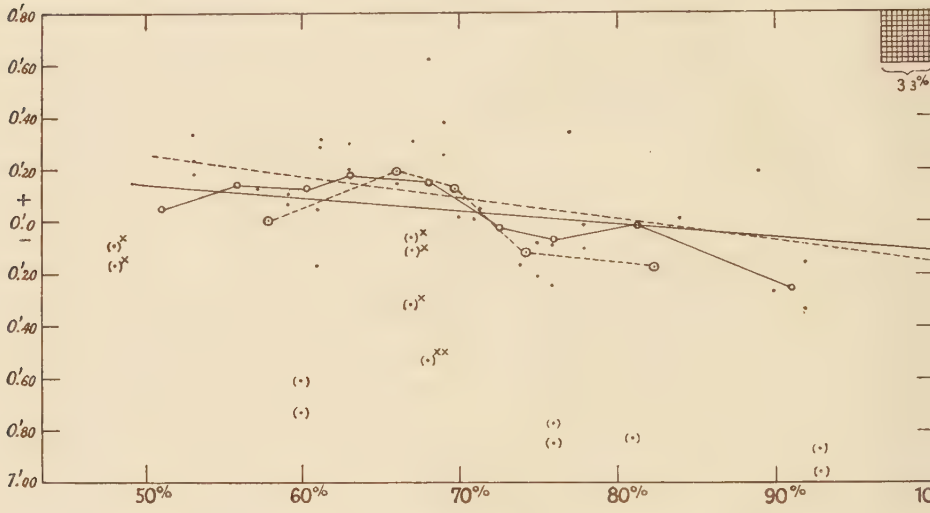
trägt bei 50 % relativer Feuchtigkeit, wie sie auf „Hunte" auftrat, die Verbesserung + 0′.2. Daß die Beziehung der Kimmtiefe zur Luftfeuchtigkeit in niederen Breiten, in denen die absolute Feuchtigkeit etwa viermal höher ist, eine für die Praxis bedeutungsvolle Abänderung erfahren hönnte, ist nicht anzunehmen, da sich die Dichte trockener und feuchter Luft kaum unterscheiden. Auch diese Frage wird weiter verfolgt werden müssen, sobald geeignetes Material vorliegt.

δ) Einfluß von Bewölkung und Färbung. Daß die Kimmtiefen durch den Grad und die Art der Bewölkung und

[1]) L. V. 15, S. 125.

Färbung des Himmels beeinflußt werden, unterlag von vornherein keinem Zweifel. Beim Zur-Deckung-Bringen eines Kimmpaares werden verschiedenartig gefärbte Stellen des Himmels über den Kimmen ineinandergeschoben, wodurch je nach dem entstehenden Farbgemisch auch der Moment der Berührung verschieden aufgefaßt wird und die Meßschärfe verschieden ausfallen muß. Als eine weitere Er-

Abb. 33.



„Adlergrund II".

Unterschiede der beobachteten und berechneten K_{bm}, als Funktion der relativen Feuchtigkeit.

$$K_b - K_r \begin{cases} = +0'.37 - 0'.0049\,f \text{ für die Beobachtungen an Deck.} \\ = +0'.63 - 0'.0079\,f \text{ „ „ „ auf Brücke.} \end{cases}$$

– – – – = Ausgleichende der Brückenbeobachtungen n. d. M. d. kl. Qu. ⊙ = Gruppenmittel der Brückenbeobachtungen ○ = Gruppenmittel der Decksbeobachtungen ——— = Ausgleichende der Decksbeobachtungen n. d. M. d. kl. Qu. · = Kimmtiefenrest an Deck. (·) = Kimmtiefenrest, beobachtet bei starkem Seegang und (·)×× = Beobachtung beim Abflauen. (·)ᵥ = Wert vom 22.9. bei etwas zackiger Kimm

fahrung, die sich täglich wiederholte, ist festzustellen, daß insbesondere auch die Bedeckung der Horizontstellen einer Messung mit Wolken den Beobachter zu beeinflussen vermag. Wenn auch das hierüber gesammelte Material ziemlich umfangreich ist, so schien es doch noch nicht hinzureichen, um die skizzierten Zusammenhänge mit hinreichender Sicherheit auch nur qualitativ aufzuweisen, so daß ich von einer Untersuchung dieser Frage Abstand nahm, da ein für die Praxis greifbares Ergebnis nicht zu erwarten war. Eine Einwirkung der Bewölkung auf die Kimmlage selbst wird schon von Koß[1]) verneint.

[1]) L. V. 4, S. 33.

3. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Kimmtiefenuntersuchungen.

a) Zusammenstellung der Formeln.

Was mit den ermittelten Kimmtiefenformeln erreicht ist, läßt sich am besten übersehen, wenn sie mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen verglichen werden. Alle Formelausdrücke sind auf eine gemeinsame Form gebracht worden, die den Erfordernissen praktischen Gebrauchs entspricht. Wenn möglich, wurde stets der Genauigkeitsgrad mit angegeben, wobei die Fehlerangabe sich nicht vereinheitlichen ließ. In den Formeln bedeutet: $t_{1.0}$, $t_{11.5}$ usw. die Lufttemperatur in einer Höhe von 1.0 m, 11.5 m über Wasser, t_a = Temperatur in Augeshöhe, gültig für den ganzen nutzbaren Geltungsbereich der Formel. Die Kimmtiefe wird stets aus derjenigen Gleichung errechnet, die diese obere Grenze enthält.

1. Kohlschütter. Nach landfesten Beobachtungen von Koß, gültig bis zu einer unteren Augeshöhengrenze von 6 m.

a) $K_t = 1'.82 \sqrt{A.H.} - 0'.41 (t_a^\circ - t_w^\circ)$, durchschnittlicher Fehler $\pm 0'.10$.

b) $K_t = 1'.82 \sqrt{A.H.} - 0'.37 (t_{1.0}^\circ - t_w^\circ)$.

2. Hessen. Aus Beobachtungen an Bord deutscher Kriegsschiffe.

a) $K_t = 1'.61 \sqrt{A.H.} + 0'.04 (t_{1.0}^\circ - t_w^\circ)$, A.H. = 10 m,

b) $K_t = 1'.70 \sqrt{A.H.} - 0'.04 (t_{1.0}^\circ - t_w^\circ)$, A.H. = 12 m.

3. Przybyllok. Auf „Deutschland", AH = 4.6 m.

$K_t = 1'.71 \sqrt{A.H.} - 0'.23 (t_a^\circ - t_w^\circ)$, mittlerer Fehler: $\pm 0'.42$.

4. Thorade. An Bord des Vermessungsschiffes „Meteor", Masthöhe 19 m. Die Gleichungen sind empirisch ermittelt.

a) $K_t = 1'.79 \sqrt{A.H.} - 0'.15 (t_a^\circ - t_w^\circ) - 0'.57 (t_m^\circ - t_a^\circ)$, A.H. = 7.8 m,

b) $K_t = 1'.90 \sqrt{A.H.} - 0'.18 (t_{1.0}^\circ - t_w^\circ)$, m.A.[1]) $= \pm 0'.62$, A.H. = 7.8 m,

$K_t = 1'.81 \sqrt{A.H.} - 0'.37 (t_{1.0}^\circ - t_w^\circ)$, m.A. $= \pm 0'.60$, A.H. = 6.1 m,

c) $K_t = 1'.83 \sqrt{A.H.}$, m.A. $= \pm 0'.67$, A.H. = 7.8 m.

5. Huber. An Bord des „Meteor", AH = 7.6 m, empirisch ermittelt. Ergänzungsglied zu der Temperaturkorrektion des festen Wertes der älteren Nautischen Tafeln:

$$C = -0'.84 (t_m^\circ - t_a^\circ).$$

Die Kimmanomalie erhält damit die Form:

$$\Delta K_t = -0'.33 (t_a^\circ - t_w^\circ)^{2}) - 0'.84 (t_m^\circ - t_a^\circ).$$

[1]) m. A. = mittlere Abweichung. — [2]) Tafelwert.

6. Breitfuß[1]). In der Barentssee, AH = 3.66 m.

$$K_t = 1'.81 \sqrt{A.H.} - 0'.57 (t_a^\circ - t_w^\circ).$$

7. Conrad. Geltungsbereich bis zu einer AH = 8 m.

„Hunte".

a) $K_t = 1'.94 \sqrt{A.H.} - 0'.33 (t_{11.5}^\circ - t_w^\circ)$, mittlerer Fehler = $\pm 0'.31$,
b) $K_t = 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.35 (t_a^\circ - t_w^\circ)$, „ „ = $\pm 0'.30$,
c) $K_t = 1'.95 \sqrt{A.H.} - 0'.37 (t_{0.5}^\circ - t_w^\circ)$, „ „ = $\pm 0'.27$.

„Adlergrund II".

A. H. Brücke.

d) $K_t = 1'.88 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_{5.5}^\circ - t_w^\circ)$, mittlerer Fehler = $\pm 0'.26$,
e) $K_t = 1'.92 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_{0.5}^\circ - t_w^\circ)$, „ „ = $\pm 0'.22$.

A. H. Deck.

f) $K_t = 1'.83 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_{3.0}^\circ - t_w^\circ)$, mittlerer Fehler = $\pm 0'.21$,
g) $K_t = 1'.84 \sqrt{A.H.} - 0'.29 (t_{0.5}^\circ - t_w^\circ)$, „ „ = $\pm 0'.22$.

Die Gruppe d) bis g) ist quantitativ der Gruppe a) bis c) nicht gleichwertig; die Höhenangabe 0.5 m der „Adlergrund II"-Gleichungen ist nicht ganz sicher.

Die Formel b) kann als die zuverlässigste gelten.

Der Vollständigkeit halber setze ich die „Hunte"-Ausdrücke her, in denen außer der A. H.-Temperatur noch diejenige in einer anderen Seehöhe und die relative Feuchtigkeit f berücksichtigt sind:

$K_t = 1'.90 \sqrt{A.H.} - 0'.33 (t_{7.5}^\circ - t_w^\circ) + 0'.013 (t_{0.5}^\circ - t_w^\circ)$,
$K_t = 1'.93 \sqrt{A.H.} - 0'.37 (t_{3.0}^\circ - t_w^\circ) - 0'.020 (t_{0.5}^\circ - t_w^\circ) + (0'.58 - 0'.007 f)$,
$K_t = 1'.91 \sqrt{A.H.} - 0'.33 (t_{7.5}^\circ - t_w^\circ) + 0'.010 (t_{11.5}^\circ - t_w^\circ)$,
$K_t = 1'.93 \sqrt{A.H.} - 0'.37 (t_{3.0}^\circ - t_w^\circ) + 0'.023 (t_{11.5}^\circ - t_w^\circ) + (0'.58 - 0'.007 f)$.

b) Beurteilung.

Daß die Gleichungen 2 a und b keinen merkbaren Einfluß der Temperatur zeigen, ist deswegen besonders merkwürdig, weil bei den Beobachtungen die verschiedenartigsten Temperaturen auftraten[2]). Vielleicht spielen instrumentale Fälschungen hinein. — Hessen sagt nichts davon, daß die Geräte während des langen Gebrauchs irgendwie nach-

[1]) Herrn Prof. L. L. Breitfuß bin ich zu besonderem Dank verpflichtet, da er mir die in russischer Sprache veröffentlichten Ausführungen des Originalwerkes zugänglich gemacht hat.

[2]) L. V. 3, S. 5.

geprüft worden wären, auch stammt das Material von verschiedenen Beobachtern.

Die geringe Größe von Richtungs- und Augeshöhenfaktor läßt vermuten, daß auch der Seegang auf die Beobachtungswerte, die alle dem freien Weltmeer entstammen, einen fühlbaren Einfluß gehabt hat.

Zu 3. Przybyllok selbst gibt keine allgemeine Darstellung seiner Beobachtungen, da er zu erhebliche, scheinbar regionale Unterschiede fand. Seine Originalgleichungen bewegen sich im Koeffizienten der Augeshöhe zwischen 1.55 und 1.79 und im Richtungsfaktor zwischen 0.05 und 0.52. Einige Stichproben aus der Schar seiner Beobachtungswerte mit stärkerem Seegang gibt folgende Tafel:

Datum 1911	Wind Beauf.	$t_l - t_w$	Abweichungen der K_b	
			gegen geod. Kimm	gegen Kohlschütter
21. 8.	6	$\pm$ 0.0°	— 0′.86	— 0′.78
28. 8.	5	— 1.7°	— 0′.05	— 0′.45
31. 8.	5	— 1.4°	— 0′.65	— 0′.95
2. 9.	5	+ 0.5°	— 0′.68	— 0′.25
23. 7.	5	$\pm$ 0.0°	— 0′.37	— 0′.20
5. 7.	5	— 0.4°	— 0′.07	— 0′.73
4. 7.	5	— 0.4°	— 0′.07	— 0′.78
	5	— 0.3°	— 0′.11	— 0′.64
6. 6.	4—5	— 1.7°	— 0′.11	— 0′.50
	4—5	— 1.7°	— 0′.01	— 0′.40
27. 5.	5	+ 0.6°	— 0′.55	— 0′.10
	5	+ 0.6°	— 0′.70	— 0′.25

Durchweg zeigt sich die typische Seegangsverfälschung. Es ist wohl möglich, daß die entsprechende Korrektur, die beträchtlich ausfallen dürfte, da die Messungen in offener See gemacht sind, die Formel 3 den Kohlschütterschen oder den Conradschen Ausdrücken annähern würde.

Zu Ziffer 4. Das zweite Temperaturglied für den Temperaturgradienten (Mast — Augeshöhe) deckt sich im wesentlichen mit dem Wert von Huber; die Gleichung 4 a wird deshalb erst unter Ziffer 5 besprochen. Die beobachteten Kimmtiefen ordnen sich meist nicht günstig in der Richtung der x-Achse[1]), auch ist das besetzte Intervall manchmal recht klein. So wohnt den Ergebnissen eine durchschlagende Beweiskraft nicht inne. Daß in diesen auch ein erheblicher Einfluß des Seeganges steckt, erscheint mir nicht zweifelhaft; denn Thorade gibt an[2]): „Auch bei starkem Seegang kann die Augeshöhe sich leicht um Meterbeträge ändern. Die Beobachter haben dann nach früheren Berichten meistens dazu geneigt, auf den höchsten Betrag einzustellen."

[1]) L. V. 3, S. 23—29. — [2]) L. V. 3. S. 21.

„An den stürmischen Tagen des 20. bis 22. August überwiegen die geringeren, am 2. September aber die größeren Kimmtiefen. Danach scheint es, als ob der Seegang auf die hier vorliegenden Beobachtungen keinen erkennbaren Einfluß gehabt hätte.“ Hier liegt der Irrtum vor den Einfluß des Seegangs in einer Erhöhung des Einstellbetrages zu sehen. Gerade der Umstand, daß die Kimmtiefen geringer gemessen wurden, zeigt die Wirkung des Seegangs an. Ein Seegang, der die Augeshöhe um Meterbeträge ändert, wird auch ein scharfes Einstellen des Kimmpaares kaum möglich machen. Von Thorades Gleichungen stimmt diejenige mit der A. H. = Schanz gut mit Kohlschütters Beziehung überein, sie hat aber einen beträchtlichen durchschnittlichen Fehler und ist empirisch gefunden.

Die Oberflächenformel kommt im Koeffizienten der Augeshöhe an Conrads Wert heran.

Allgemein ist der Genauigkeitsgrad der Formeln unter Ziffer 4 nicht sehr groß.

Zu 5. Huber hat seinen Ausdruck als Ergänzung für einen festen Wert der nautischen Tafeln gefunden[1]): Er setzt die wesentliche Übereinstimmung seiner Beobachtungen mit dem Ausdruck = 0′.33 $(t_a^\circ - t_w^\circ$ voraus, was ohne weiteres nicht angängig ist. Deshalb wird sein Schluß[2]), daß die Temperatur in Masthöhe zur Berechnung der Kimmtiefe verwendet werden könnte, auch kaum anerkannt werden können. Der Thoradesche Richtungsfaktor (Ziffer 4 a) ist zwar kleiner als der Wert von Huber, er erreicht aber immerhin noch die bemerkenswerte Größe von 0′.57. Thorade folgert daraus, daß die Differenz der Temperaturen (Mast — Augeshöhe) von größerem Einfluß sein müsse, als der Temperaturgradient (Augeshöhe — Wasseroberfläche)[3]). Er übersieht dabei, daß jener Temperaturgradient nur in seltenen Ausnahmefällen die Größenordnung des letzteren zu erreichen vermag. Fast das ganze nutzbare Gefälle hat sich in der Regel schon in $t_a^\circ - t_w^\circ$ ausgebildet, selbst wenn die A. H. nur gering ist. Ich habe aus meinem Material 20 Gradienten, die $\geq 0^\circ.5$, herausgenommen, die Mittelwerte der beiden fraglichen Temperaturdifferenzen gebildet, und für $(t_a^\circ - t_w^\circ$ $= 2^\circ.90$, für $(t_m^\circ - t_w^\circ) = 0^\circ.40$ erhalten. Mit diesen Beträgen werden die beiden Glieder:

bei Huber:	bei Thorade:
1. 0′.33 $(t_a^\circ - t_w^\circ) = 0'.96$,	3. 0′.15 $(t_a^\circ - t_w^\circ) = 0'.44$,
2. 0′.84 $(t_m^\circ - t_a^\circ) = 0'.34$,	4. 0′.57 $(t_m^\circ - t_a^\circ) = 0'.23$.

[1]) L. V. 3, S. 14. — [2]) L. V. 3, S. 15. — [3]) L. V. 3, S. 24.

Die Überlegenheit wird bis auf Ausnahmen stets bei dem ersten Temperaturgefälle bleiben. Meine früheren Untersuchungen erhärten dies (s. auch die Tabelle auf S. 53 und die Abb. 14 bis 23).

Ich habe noch aus den Beobachtungen von Immler[1]) mit 22 Fällen diejenigen ausgesondert, die einer Windstärke 5 Beaufort und mehr zugehören. Immler gibt Serien von je 6 Gliedern in den Seehöhen: 23, 20, 18, 16, 13, 11 m. Die Differenzen (Kimmtiefe, beob. — Tafelwert) jeder Serie bilden eine Reihe mit der Höhe absinkender Werte, d. h. die Kimm erschien um so stärker gehoben, je geringer die Augeshöhe, eine Erscheinung, die nicht anders als durch den Einfluß des Seegangs erklärt werden kann. In nachstehender Tabelle sind einige Beispiele enthalten.

Datum	Wind	$K_b - K_r$					
1926	Beauf.	A.H.: 23 m	20 m	18 m	16 m	13 m	11 m
7. 8.	WNW 7	+ 1′.2	+ 0′.5	+ 0′,6	+ 0′.2	+ 0′.1	+ 0′.4
15. 8.	SW 5	+ 0′.5	+ 0′.3	— 0′.8	— 0′.4	— 0′.5	— 1′.3
29. 11.	NWzW 5	— 0′.2	± 0′.0	— 0′.4	— 0′.3	— 1′.1	— 0′.9
3. 12.	NW 6	+ 1′.1	+ 1′.2	+ 0′.5	+ 1′.2	± 0′.0	± 0′.0

Zu 6. Die Breitfußsche Formel gibt einen abnorm hohen Richtungskoeffizienten an[2]). Sie beruht auf 37 Kimmtiefenbeobachtungen, die mit einem Kimmtiefenmesser mit Meßkeil in einer Augeshöhe von 12 Fuß auf dem Dampfer „Andreas Perwoswanny“ 1906 und auf dem Robbenfänger „Foka“ 1907 mit 18 Fuß Augeshöhe gemessen wurden. Die mittlere Temperatur betrug 6°.1, der größte Temperaturgradient 3°.3. Die Kimmtiefen wurden auf über 70° Nordbreite gewonnen. Der Bearbeiter — Geophysiker Sownsnewsky (Dorpat) — hält die Zahl der Beobachtungen[2]) für ungenügend.

Interessant ist die Feststellung, daß sich in der Barentssee die Kimmtiefen in zwei Gruppen anordneten, je nachdem Land- oder Seewind wehte, wohl als Folge einer dadurch jedesmal verursachten wechselweisen Erwärmung des Wassers oder der Luft[3]).

Zu 1. Die Gleichungen sind aus einseitigen Theodolitbeobachtungen, die sich über das ganze Jahr erstreckten, ermittelt worden. Das Material ist also besonders zuverlässig. Die Beziehungen sind von Kohlschütter in aller Strenge abgeleitet und erst dann unter Fortlassen höherer Glieder in die vorliegende, für die Praxis besser geeignete Form übergeführt worden. Der durchschnittliche Fehler einer Messung ist klein. Die beiden Formeln verdienen vollstes Vertrauen.

[1]) L. V. 6, S. 222 ff. — [2]) L. V. 12, S. 143, 139 f. — [3]) L. V. 12, S. 143.

Ihre Schwäche liegt darin, daß sie die reinen Seeverhältnisse nur bedingt widerspiegeln und daß sie nur für Augeshöhen $\geq$ 6 m gültig sind.

Zu 7. Die Conradschen Gleichungen stimmen mit den Kohlschütterschen qualitativ und mit kleineren Einschränkungen auch quantitativ befriedigend überein. Die mittleren Fehler bleiben beträchtlich unterhalb der Fehlergrößen der sonstigen aus Bordbeobachtungen stammenden Ergebnisse.

Ich komme am Schluß des nächsten Kapitels wieder eingehend auf die Formeln 1 und 7 zurück.

V. Die astronomischen Beobachtungen.

Die gewonnenen Kimmabstände von Gestirnen waren in erster Linie dazu bestimmt, einen Aufschluß über den Genauigkeitsgrad astronomischer Ortsbestimmung auf See zu geben. Wenn dies Vorhaben auch nur dann einen Sinn haben konnte, wenn sich die Ergebnisse ohne weiteres auf die Praxis übertragen ließen — d. h. auf vermessungstechnische und wissenschaftliche Untersuchungen nautischen Charakters —, so mußte doch um einen Grad strenger als üblich vorgegangen werden, damit die Allgemeingültigkeit nicht anzuzweifeln war. Ich hielt damit nur die von Anbeginn eingeschlagene Richtlinie auch weiterhin fest. Dazu war geboten, den terrestrischen Schiffsort genauestens festzulegen, da ich in seinen den astronomischen Angaben in der Regel überlegenen Koordinaten einen guten summarischen Vergleichsmaßstab zu erhalten hoffte, und die Kimmabstände selbst scharf auszugleichen.

Die zweite Aufgabe bestand darin, die im Kapitel IV ermittelten Beziehungen der Kimmtiefen an Hand des astronomischen Materials nachzuprüfen.

1. Der terrestrische Schiffsort.

a) Hunte.

α) Geographische Koordinaten. Den günstigsten Schiffsort der „Hunte“ für eine terrestrische Bestimmung auszuwählen, ließen leider die sonstigen Aufgaben des Dampfers nicht zu. Die Ortsbestimmung stützte sich auf die drei Landmarken: Kullen-Leuchtfeuer auf der schwedischen Seite in 20 Sm Abstand und die beiden dänischen Leuchttürme auf Lyse-Grund und auf der Insel Hesselö. 8.5 und 15 Sm ab. Der Doppelwinkel (Kullen—Lyse-Grund—Hesselö) setzte sich aus einem Winkel von 90° und einem solchen von nur 1° zusammen. Infolge der großen Entfernungen war ich auf reine

Feuerbeobachtungen angewiesen. Diese gestalteten sich außergewöhnlich schwierig, da die Feuer aus zwei Blitz- und einem unterbrochenen Feuer bestanden. Feuersichtig war der Horizont nur bei Wind, und dann gierte das Schiff stark und bewegte sich lebhaft. Dennoch gestattete die Ausbeute an Winkeln und Peilungen den terrestrischen Schiffsort mit hinreichender Sicherheit anzugeben (Abb. 1, S. 9). Ergänzt wurden die Selbstpeilungen durch laufende Peilungen der „Hunte" von „Poseidon" aus, die sich mit den Bordpeilungen deckten.

Es gelangen zwei kontrollierte Doppelwinkel, aus denen der terrestrische Schiffsort rechnerisch abgeleitet wurde. Die Peilungen dienten nur zur Kontrolle. Gerechnet wurde des kleinen Winkels wegen sechsstellig und sphärisch, wenngleich letzteres, da der sphärische Exzeß die Sekunde noch nicht erreichte, nicht durchaus erforderlich gewesen wäre. Die Höhe der Feuer von „Hunte" aus betrugen:

Hesselö . . . . . $= 0° 4' 46''$,
Lyse-Grund . . . . . $= 0° 3' 2''$,
Kullen . . . . . $= 0° 9' 8''$.

Damit stellten sich die Beschickungen auf den Horizont (4″ und 1″) als bedeutungslos heraus. Die Koordinaten von Hesselö erhielt ich von der Marineleitung, diejenigen von Kullen-Leuchtturm und Lyse-Grund durch die liebenswürdige Vermittlung von Herrn Prof. Dr. Schulz aus Kopenhagen vom dortigen geodätischen Institut. Die geographischen Koordinaten wurden von Lyse-Grund und von Kullen abgeleitet, sie zeigten gute Übereinstimmung; einen gewissen Einfluß schien die Nationalität der Feuer zu haben: Ich erhielt über Kullen eine um $+ 1''.93$ und um $+ 1''.97$ von demjenigen Betrag verschiedene Länge, welchen Lyse-Grund lieferte. Da dieser Unterschied in Bogen nur $1''.06$ und $1''.08$ betrug, konnte er vernachlässigt werden. Die beiden Doppelwinkel ergaben somit die Schiffsörter:

1. $\varphi_1 = + 56° 25' 52''.43$, $\lambda_1 = + 11° 53' 34''.80$,
2. $\varphi_2 = + 56° 25' 56''.00$, $\lambda_2 = + 11° 53' 41''.74$.

Daraus folgte als Mittelwert:

$\mathrm{Hu_m} \sim \varphi_m = + 56° 25' 54''.22$, $\lambda_m = + 11° 53' 38''.27$.

Die Abweichung des Einzelwertes vom Mittel beträgt 80 m. Ob dieser Punkt in der Tat als mittlerer Schiffsort angesehen werden durfte, konnte zweifelhaft sein, da „Hunte" immerhin auf 34 m Wasser vor 125 m Kette lag, so daß sich die möglichen Extremlagen um 260 m oder um $0'.14$ voneinander unterschieden. Wenn dieser Wert auch noch

nicht an die zugrunde gelegte Meßschärfe (0′.17) heranreichte, so mußten doch systematische Fehler auch kleinen Ausmaßes vermieden werden. Deshalb war auch die relative Schiffslage zum Anker und zu dem ermittelten Schiffsort während der Beobachtungszeit zu untersuchen.

β) Relative Schiffslage zum Anker. Das Auslegen der Hochseepegel bot hierzu beste Gelegenheit. Es wurden gleichzeitig 4 Bojen rund um das Schiff herum verankert und durch Peilung und Höhenwinkel des Mastes in ihrer Lage zum Schiffsort bestimmt. Die Bojen lagen auf 32 m Wasser vor 50 m Ankertroß, wodurch ein Schwingungshalbmesser von 38 m gegeben war. Man konnte nunmehr die Schiffsbewegungen mit Hilfe von Doppelwinkeln und Peilungen genügend genau verfolgen. Berücksichtigte man, daß die ausgelegten Bojen je nach Wind und Strom ihren Ort wechselten, wodurch sich auch die Schiffsörter scheinbar entgegengesetzt verlagern mußten, und daß je nach Wetterlage der Teil der Ankerkette, um den das Schiff schwojte, veränderlich war, so ergab sich, daß alle Schiffsörter innerhalb eines Umkreises von 75 m Halbmeser lagen. Dem entsprach auch der äußere Anschein bei der laufenden Schätzung der Schiffslage zu den Bojen. Nachdem so ein mittlerer relativer Schiffsort gefunden war, stellte ich fest, daß sämtliche Beobachtungspunkte innerhalb eines Umkreises von 60 m Radius lagen. Den beiden Doppelwinkelmessungen nach den Feuern entsprachen Schiffspunkte, die 50 m bzw. 30 m südlich vom gemittelten relativen Schiffsort lagen. Der mittlere terrestrische Beobachtungspunkt hatte demnach von diesem einen Abstand von nur 40 m. Diese Größenordnung liegt schon unterhalb der Schiffsabmessung, deshalb kann ich den gefundenen terrestrischen Schiffsort als Mittelwert für alle Beobachtungen gelten lassen. Da die äußersten Beobachtungspunkte um 100 m von ihm entfernt lagen, muß die Unsicherheit des terrestrischen Schiffsortes mit $\pm$ 100 m $= \pm$ 0′.05 angenommen werden.

γ) Schiffsbewegungen vor dem Anker. Eine große Zahl kurzabständiger Doppelwinkelmessungen gelegentlich der Bestimmungen des Schiffsortes relativ zum Bojensystem gaben Aufschluß über die Bewegungen eines verankerten Schiffes. Die Tafel 4 zeigt einige charakteristische Beispiele. Die Schwingungen des Beobachtungspunktes, von denen die Darstellung nur die Sehne roh wiedergibt, gehen mit unregelmäßigen Beschleunigungen und in mannigfaltigsten Formen vor sich. Teils herrscht die Pendelbewegung des Schwojens vor (Taf. 4 b), teils werden die Bewegungen in der Hauptsache durch die Zugkraft der federnden Ankerkette hervorgerufen (Taf. 4 a) oder aber

es wirken beide Kräfte auf die Schiffslage ein (Taf. 4 c). Wenn man sich vergegenwärtigt, daß die tatsächlichen Schiffsbewegungen dadurch noch wesentlich kompliziert werden, daß sich das Gieren — Pendeln vor der Ankerkette auf engem Raum — den andern Bewegungen überlagert, erkennt man, daß die wirkliche Erscheinung praktisch nicht genau erfaßt werden kann. Für Strombeobachtungen hat die Frage große Bedeutung. Man wird aber auf diesem indirekten Weg für die Reduktion von Strombeobachtungen quantitativ nicht viel erwarten dürfen, wie auch die Strombeobachtungen auf „Hela" im April 1930 bewiesen haben.

b) „Adlergrund II".

α) Versuch einer Bestimmung. War auch die terrestrische Ortsbestimmung des Feuerschiffs wegen seiner küstenfernen Lage besonders schwierig, so war sie doch immerhin denkbar, sobald sich eine Wetterlage einstellte, die in jeder Weise die Messung begünstigte, also weite Sichten, ruhige See und klare Luft brachte. Die Messungen waren von Bord aus unter Einschalten eines Zwischenfahrzeuges vorgesehen, da Theodolitbeobachtungen mit festem Stand allein mit Hilfe von Bornholm hätten durchgeführt werden können. Die vorgesehene fliegende Bestimmung von Bord aus konnte meiner Erfahrung nach gut gelingen: Alles Nötige war vorbereitet. Die Sicherheit des damit zu bestimmenden terrestrischen Feuerschiffsortes hätte ausgereicht, wenn meine Methode eines derartigen Vorwärtseinschnittes[1]) zur Anwendung gekommen wäre. Leider machte das Wetter einen Strich durch die Rechnung, was um so bedauerlicher war, als gerade am Tag, nachdem ich mich nach Abschluß der Beobachtungen ausgeschifft hatte, die so sehnlichst erhoffte Wetterlage in der Tat eingetreten ist. So mußte ich darauf verzichten, „Adlergrund II" terrestrisch festzulegen, und mich darauf beschränken, die relative Schiffslage zum Anker zu ermitteln.

β) Relative Schiffslage zum Anker. Die drei Positionsbojen und die Ankerpositionsboje des Feuerschiffs gaben geeignete Marken für eine solche Bestimmung. Dazu wurde schon Ende Juni eine kleine Triangulation durchgeführt: Es wurden die Winkel an den Bojen und gleichzeitig am Turm des Feuerschiffs gemessen. Die Basis lieferte eine mehrmalige Höhenmessung des 16,90 m hohen Turmes von der nächsten Boje aus. Die Größenordnung der Höhenwinkel betrug 1½°. An einer Doppelmessung der einen Dreieck-

[1]) L. V. 2, S. 301–316.

seite konnte die Triangulation nachgeprüft werden: die Seitenwert stimmten auf 11 m überein. Die Bestimmung befriedigte.

Während der herbstlichen Beobachtungsperiode wurde ebenso wi auf „Hunte" die Schiffsposition unter Kontrolle gehalten. Die Frag wie groß der Schwingungsraum des Schiffes gewesen ist, kann dahin be antwortet werden, daß 54 % der Beobachtungspunkte in einem Krei von 10 m Radius Platz finden, 70 % in einem solchen von 20 m, 77 % i einem solchen von 46 m, 100 % in einem solchen von 120 m. Als war ich berechtigt, einen gemeinsamen gegißten Schiffsort für di astronomischen Beobachtungen anzunehmen. Der Fehler, der dann au treten kann, überschreitet nicht 0'.07.

2. Material, seine Aufbereitung, sein Genauigkeitsgrad

a) Das Material.

Aus beiden Beobachtungsperioden standen 615 Gestirnbeobach tungen zur Verfügung, die sich auf 168 Serien und Einzelhöhen ver teilten. 11 Einzelmessungen eines Hilfsbeobachters dienten zu eigene Kontrolle und 5 Serien mit 9 Einzelbeobachtungen zu besonderen Ver suchen. Auf Grund von Bemerkungen des Beobachtungsprotokoll mußten 27 Beobachtungen von vornherein ausgeschaltet werden, wo durch jedoch nur eine Standlinie[1]) verlorenging. 17 Höhen wurden aus gemerzt, da sie wohl für eine praktische Ortsbestimmung hinge reicht hätten, für meinen Zweck aber ungeeignet erschienen. Demnach verblieben für die Bestimmung des Schiffsortes und die quantitative Ge nauigkeitsuntersuchung 157 Werte, die aus 551 Einzelhöhen gewonne waren, d. h. es stellten sich als unbrauchbar heraus: 3 % der Einze höhen, 0.7 % der Standlinien. Natürlich wurde so mancher Wert mi genommen, der strengster Kritik nicht standhalten konnte. Ich durft aber nicht zu stark sichten, wollte ich mich nicht des Vorwurfs eine gewissen Willkür schuldig machen. Schon hier sei betont, daß ich be strebt gewesen bin, dem gefühlsmäßigen Moment, das man bei solche Beobachtungen nur schwer auszuschalten vermag, ja z. T. auch nich immer ausschalten darf, den geringsten Raum zu geben.

b) Die Aufbereitung.

Zur Höhenreduktion auf den Horizont[2]) wurden d notwendigen Verbesserungen einzeln angebracht. Über die Index- un Exzentrizitätsverbesserung habe ich früher berichtet (s. Instrumenta

[1]) Siehe S. 82. — [2]) L. V. 8, S. 73ff.

fehler). Die astronomische Strahlenbrechung wurde für die Temperatur und den Luftdruck der Epoche beschickt und die Höhenparallaxe angebracht. Ich benutzte außer dem Nautischen Jahrbuch 1931 die Nautischen Tafeln von Breusing-Fulst 1923 und das Nautische Jahrbuch von 1906, das für die Mehrzahl der Korrektionen die Werte in handlicher Form bot. Der Strahlenbrechung sind für Höhen $> 5°$ die Besselschen, für Höhen $< 5°$ die Argelanderschen Werte zugrunde gelegt.

Für die Beschickung des Kimmabstandes zur scheinbaren Höhe bediente ich mich auf Grund der Untersuchungen im Kapitel IV des Mittelwertes der Kimmtiefen einer Rundmessung unter Ausschluß der Sonnenkimm, und zwar der Einheitlichkeit des Materials wegen auch dann, wenn die nächstliegende Kimm oder die Sonnenkimm günstigere Ergebnisse versprach.

Der Rechnung wurde die Höhenformel des Poldreiecks zugrunde gelegt:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \text{ [1)]}.$$

Ich setzte:

Breite $= \varphi$, Länge $= \lambda$, Stundenwinkel $= t$, $h_b =$ beobachtete, $h_r =$ errechnete Gestirnhöhe, $dh = h_b - h_r$, $a =$ Azimut. Auf eine Vereinfachung der Formel wurde der Rechenkontrolle wegen verzichtet. Ich rechnete mit sechsstelligen Logarithmen, um die Gefahr von Abrundungsfehlern mit Sicherheit auszuschalten. Für den dem Material beizumessenden Genauigkeitsgrad hätten auch fünf Stellen genügt. Weiterhin wurde jede Einzelmessung besonders ausgewertet und erst die fertigen Resultate gemittelt. Dadurch wurde man unabhängig von dem beschleunigten Bahnablauf der Gestirne, der sonst nur für eine eng begrenzte, je nach dem Azimut verschiedene Zeitspanne das lineare Zusammenfassen von Einzelbeobachtungen gestattet hätte. Die Rechnung wurde durch Wiederholung geprüft. Da der terrestrische Schiffsort der „Hunte", als ich mit der Rechnung beginnen wollte, noch nicht endgültig vorlag, wählte ich einen gegißten Schiffsort aus, von dem ich annehmen konnte, daß er in großer Annäherung dem wahren Orte entsprechen würde. Dieser Punkt hatte die geographischen Koordinaten

$$\varphi = +56° 26' 10''.28, \qquad \lambda = +11° 53' 48''.01.$$

Der gegißte Schiffsort von „Adlergrund II"

$$\varphi = +54° 50' 0'', \qquad \lambda = +14° 22' 0''$$

entstammte früheren astronomischen Bestimmungen des Schiffskapitäns, die durch eigene Standlinien nachgeprüft worden waren.

[1)] Siehe S. 83.

c) Der relative Genauigkeitsgrad.

Aus der Rechnung ergaben sich als mittlere Fehler eine Messung auf „Hunte“: $\varepsilon = \pm 0'.30$, wobei der größte Ausschla innerhalb einer Serie von zwei und mehr Beobachtungen im Mittel 0'.6 betrug und nur achtmal die volle Minute erreichte oder überstie ($\leq 1'.2$). Auf „Adlergrund II“: $\varepsilon = \pm 0'.27$, wobei der mittlere max male Ausschlag innerhalb der Serie 0'.55 betrug und nur sechsmal di Minute erreicht oder überschritten wurde ($\leq 1'.1$).

Der Genauigkeitsgrad von Sonnen- und Sternhöhen unterschie sich nicht wesentlich.

Den mittleren Fehler des ersten Mittels de Einzelbeobachtungen errechnete ich

auf „Hunte“ zu $\pm 0'.17$,
auf „Adlergrund“ zu $\pm 0'.17$.

Damit erreichten die Beobachtungsergebnisse die Ableseschärfe de Sextanten.

Das Material eignet sich also gut für die beabsichtigte Unter suchung; es rechtfertigte sich, daß ich bei der Sichtung der Werte nich außergewöhnlich scharf verfahren habe. Natürlich war lediglich ei Maßstab für ein Urteil über die innere Güte der Beobachtungswert gewonnen.

3. Ausgleichung.

a) Strenge Formel.

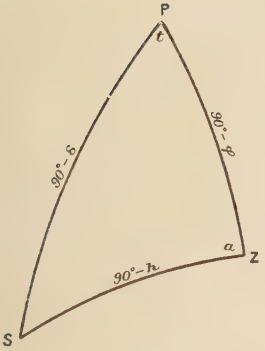
Zur Ermittlung des astronomischen Schiffsortes wurde nach der i der Nautik üblichen Methode[1]) verfahren: Die Differenz der beide Höhengleichen gibt in Verbindung mit dem Azimut des Gestirns, an de gegißten Schiffsort angetragen, den wahrscheinlichen Schiffsort, vo dem aus die Standlinie — ein kurzes Stück der Höhengleiche — senk recht zum Azimut des Gestirns als ein geometrischer Ort für den wahre Schiffsort gezogen wird. In dem Schnittpunkt zweier Standlinien erhäl man den Schiffsort. Eine solche geometrische Methode vermag nur fü eine übersichtliche Zahl von Standlinien Genügendes zu leisten und bo auch nicht die Sicherheit, die gefordert werden mußte: das nautisch Ausgleichsverfahren war durch ein analytisches zu ersetzen. Unter de Annahme, daß mit der Wahl des gegißten Schiffsortes eine gute An näherung an den wahren Ort erreicht worden war, konnte eine analy tische Darstellung von $d\,h = h_b - h_r$ in der Beziehung zur Länge un

[1]) L. V. 8, S. 157ff.

Breite des wahren Schiffsortes erreicht werden, indem die Höhenformel differenziert wurde. Ob die Voraussetzung zutreffend war, konnte allerdings erst aus den Fehlern des Endergebnisses erkannt werden. War sie es aber nicht, so mußte die Rechnung mit verbesserten Näherungswerten wiederholt werden.

Differenziert man die Höhenformel, so wird

$$\cos h \, dh = \cos \varphi \, \sin \delta \cdot d\varphi - \sin \varphi \, \cos \delta \, \cos t \, d\varphi$$
$$- \cos \varphi \, \cos \delta \, \sin t \cdot dt. \quad \text{Daraus folgt:}$$
$$dh = \frac{\cos \varphi \, \sin \delta - \sin \varphi \, \cos \delta \, \cos t}{\cos h} d\varphi$$
$$- \frac{\cos \varphi \, \cos \delta \, \sin t}{\cos h} dt,$$



Nun ist:

$$\sin a = \frac{\cos \delta \, \sin t}{\cos h} \qquad \text{und}$$

$$\cos a = \frac{\cos \varphi \, \sin \delta - \cos \delta \, \sin \varphi \, \cos t}{\cos h}.$$

Damit wird:

$$dh = \cos a \cdot d\varphi - \sin a \, \cos \varphi \, dt.$$

In den Formeln bedeuten $d\varphi$ und dt die Unterschiede der Breite und des Stundenwinkels (Länge) zwischen dem wahren und dem gegißten Schiffsort, die übrigen Elemente der rechten Seite sind bekannt oder beobachtet, dh erwächst aus Beobachtung und Rechnung. Stehen zwei oder mehr Beobachtungen zur Verfügung, so können $d\varphi$ und dt bestimmt werden. Verfährt man dementsprechend mit sämtlichen ermittelten Werten von dh und unterwirft sie einem scharfen Ausgleich, so ergibt sich aus dem ausgeglichenen $d\varphi_0$ und dt_0 der astronomische Schiffsort und der Abstand dh_0 des astronomischen vom gegißten Schiffsort.

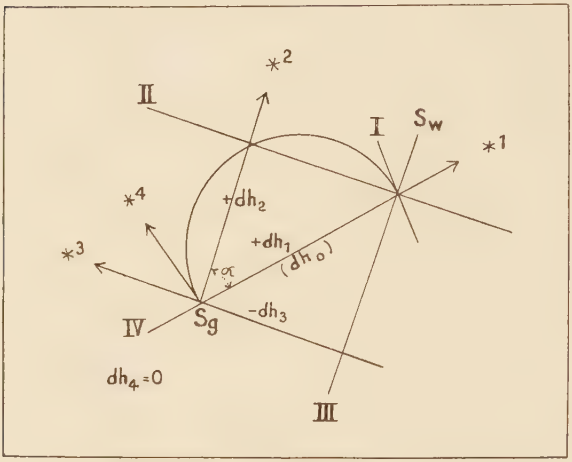
Als notwendige Ergänzung der Fehlerangaben mußte vor dem Ausgleich eine ins einzelne gehende Nachprüfung der Beobachtungen vorgenommen werden.

b) Verfahren nach Conrad.

Dazu benutzte ich den inneren Zusammenhang, in dem die Höhenunterschiede dh zueinander stehen, wie es in Abbildung 34 zum Ausdruck kommt. Nimmt man die Peilung des wahren Schiffsortes S_w vom gegißten Ort S_g aus als Nullrichtung an und bezeichnet die Abweichung des Azimuts eines Gestirns hiervon als Richtungswinkel α,

so gilt zwischen der Höhendifferenz des Gestirnes und $d h_0$, dem Abstand $S_w - S_g$, die Beziehung: $d h = d h_0 \cos \alpha$. Für Gestirne, deren Richtungswinkel $= 90°$ ist, wird $d h = 0$, um bei weiterem Wachsen von α negativ und erst im vierten Quadranten wieder positiv zu werden. In der Nullrichtung erreicht $d h_1$ den Wert $d h_0$ und in der entgegengesetzten $= - d h_0$. Man ersieht daraus, daß die Größen $d h$ einer Kosinusschwingung folgen, deren Amplitude $= d h_0$ ist. Die Fehlergleichung sagt dasselbe aus. Trägt man die Werte als Funktion ihres Azimuts auf und gleicht durch eine Kosinuslinie aus, so kann man der Stelle des Maximums direkt die Richtung des wahren Schiffsortes entnehmen, die Amplitude gibt den Abstand selbst. Die Abszissenachse entspricht dem gegißten Schiffsort.

Abb. 34.



Höhendifferenzen.

Unterschied der beobachteten und errechneten Gestirnshöhen dh als Funktion des Azimuts a.

I—IV = Standlinien der Gestirne 1—4 bei einem Azimut: ⩚. S_g = Gegißter (angenäherter) Schiffsort. S_w = wahrer Schiffsort. α = Richtungswinkel $= a_2 - a_1$. $d h_0 = S_w - S_g$.

Diese neuartige Darstellung der ermittelten Höhendifferenzen ist elegant und nützlicher als die sonst gebräuchlichen Standlinienzeichnungen, gestattet mühelos einen Einblick in die Güte der Werte und gibt noch manchen anderen Aufschluß, worüber ich gelegentlich der Schlußbesprechung berichten werde.

c) Genauigkeitsuntersuchung.

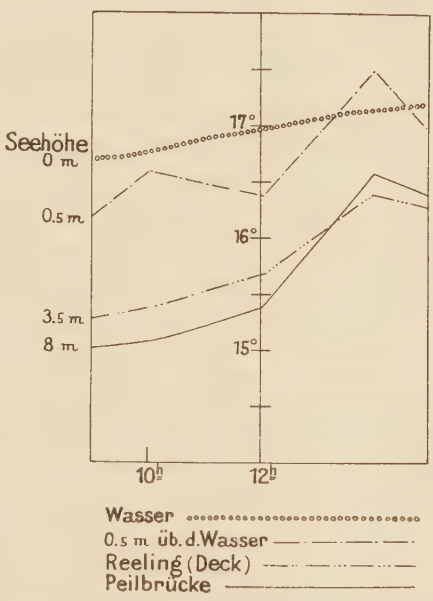
Die Tafeln 5 und 6 sind nach dieser Auffassung konstruiert. Sie zeigen die Höhendifferenzen als Funktion des Gestirnazimutes. Zum Aussondern der besonders stark verfälschten Beobachtungswerte wurde zunächst freihändig eine ausgleichende Kurve in möglichster Anlehnung

an den Verlauf einer Kosinusschwingung gezogen und dann die am weitesten abliegenden Werte einzeln untersucht. Ein späterer Vergleich mit der strengen Ausgleichenden machte keine Abänderung der Ergebnisse dieser Untersuchung erforderlich.

α) Einzeluntersuchung. Es wurden betroffen: 23 auf „Hunte“ und 12 auf „Adlergrund“ gemessene Gestirne (mit H und A bezeichnet).

Die Mittagsbreiten Nr. H 14 am 10. 8. und Nr. H 15 am 15. 8. weichen zwar nur 0′.8 ab, hier liegen aber nicht allein Beobachtungsfehler vor. Die Kimmtiefe für die Gestirnhöhe H 14 wurde vor der Kulmination, für Nr. H 15 hinterher gemessen. Aus technischen Gründen waren zwischen astronomischer Beobachtung und Kimmtiefenmessung einige Minuten verflossen. Nun vergrößerte sich der Gradientbetrag (Luft—Wasser) für die erste und verkleinerte sich von $11^h\ 30^m$ ab für die zweite Breite. Für die Epoche wäre also beide Male eine größere Kimmtiefe anzuwenden gewesen, als der gemessene Betrag angab. Diese Annahme wird im zweiten Fall gestützt durch die Temperaturmessung an Bord des „Poseidon“, indem die einzelnen Phasen hier, soweit sich bei den weitabständigen Werten urteilen läßt, etwas später einsetzten, und zwar stiegen die Lufttemperaturen mittags steil an, so daß schon eine verhältnismäßig kurze Zwischenzeitspanne merkbare Kimmfehler hineinzutragen vermochte (Abb. Nr. 35). Es wehten westliche Winde mit 4 bis 7 m/sec. „Poseidon“ wurde SO gepeilt.

Abb. 35.



Dampfer „Poseidon“.
Temperaturmessungen vom 15. August 1931.

Die Mittagshöhe Nr. H 19 verdankt ihre tiefe Lage einer zu großen Kimmtiefe. Da diese im Anschluß an die Höhenbeobachtung gemessen wurde, trägt der Zeitverlust keine Schuld. Setzt man aber statt der gemessenen Kimmtiefe den Wert K_r ein, den auf Grund der Temperaturen die abgeleitete Kimmtiefenformel (s. S. 63) gibt, so zeigt die Höhe gute Übereinstimmung mit dem ausgeglichenen Betrag, da sich

$K_b - K_r$ [1]) zu + 0′.43 stellt. Im ganzen Verlauf der Einzeluntersuchung hat K_r die gleiche Bedeutung.

Die Höhe Nr. H 20 ist um $11^h\,14^m$ am 16. 8. kurz nach einem dreistündigen Gewitter beobachtet worden. Die Temperatur stieg bei gleichbleibender Wasserwärme von $10^h\,30^m$ bis 11^h um 1½° und ging dann in einen stetigen, immer noch ziemlich steilen Anstieg über. Es herrschte Windstille, die Temperatur war in 11 m Seehöhe kälter als in Augeshöhe (Tafel 7). „Poseidon" maß gleiche Temperaturanordnung, der Wind wehte aus Süd. Durch eine Verbesserung im Sinne $K_b - K_r = + 0'.20$ würde die Abweichung normal werden, ein Zeichen dafür, daß die Temperaturmessung dem Gang der vorliegenden Kimmanomalie besser folgte als die Messung selbst; dazu kam, daß die Kimmtiefe vor der astronomischen Beobachtung gewonnen war. Bei schnell wechselnder Witterung kann es eintreten, daß eine verschiedenartige Wetterlage an den gegenüberliegenden Kimmstellen verfälschend wirkt, was sowohl bei der Höhen- wie bei der Temperaturmessung nicht der Fall ist.

Für Nr. H 17 gelten die gleichen Umstände wie für Nr. H 20. Wendet man $K_b - K_r = + 0'.38$ an, erhält man eine einwandfreie Lage.

Nr. H 12, 13, 16 gehören zu Höhen = 7°.

Nr. H 18 und 21 rücken durch Reduktion mit der Formelkimmtiefe um 0′.27 und 0′.20, d. i. befriedigend, an die Ausgleichung heran. Bei H 21 wird wohl auch eine gewisse Blendung des Beobachters beim Messen der Kimmtiefe (10° neben Sonnenazimut) mitgewirkt haben.

Nr. H 22 ist um $6^h\,55^m$ am 16. 8. gerade vor dem Ausbruch eines Gewitters gemessen worden (Tafel 7), so daß sich der eintretende Temperatursturz um 2° auswirken mußte. Durch Auswahl der Nutzkimmtiefe suchte ich dem zu begegnen: es ist aber nicht ganz gelungen. Verantwortlich dafür dürfte die Gegenkimm sein. Zugrichtung des Gewitters war NW—SE, „Poseidon" gibt für die fragliche Zeit zur Klärung leider keine Temperaturen an. Die eine Hälfte des Seehorizontes zeigte schon seit dem frühen Morgen schwere Regenwolken. Dennoch befriedigt die Lage der Höhe im allgemeinen.

Nr. H 10 wird durch Anwendung der Formelkimmtiefe um 0′.2 verbessert. Das Protokoll beklagt das Aussehen des Horizontes. Der mittlere Fehler der Höhe beträgt ± 0′.33. Ganz allgemein ergeben abendliche Sternkimmen wegen des dicken Kimmrandes leicht eine etwas zu kleine Höhe, indem an den zu klein gemessenen Kimmabstand die vorher ermittelte wahre Kimmtiefe angebracht wird.

---

[1]) Beobachtete — errechnete Kimmtiefe.

Andererseits kann natürlich der gemessene Kimmbetrag in gleicher Weise zu klein sein, wenn ein Dämmerungseinfluß vorhanden ist, so daß eine Verfälschung im ganzen nicht eintritt.

Zu Nr. H 1, 2, 3 und 4, die zu verschiedenen Tagen gehören, ist zu sagen, daß durch die Differenzen: $K_b - K_r = -0'.53, -0'.25, -0'.25, -0'.20$ ihre Lage geklärt ist. Es handelt sich um Sterne, so daß die Zeitspanne zwischen Kimmessung und Höhenmessung zweifellos eine Rolle spielt. Die Temperaturmessung leistet mehr.

Nr. H 9 ist eine Morgenbeobachtung, deren Kimmtiefe erst später gemessen werden konnte. An und für sich lagen die Kimmtiefen der Rundmessung gut beieinander, jedoch nahm das Temperaturgefälle beharrlich zu, so daß man eine kleinere Kimmtiefe, als tatsächlich beobachtet worden war, hätte einführen müssen, womit die Höhendifferenz, wie zu fordern, kleiner geworden wäre. Die Abweichung ist im übrigen durchaus erträglich.

Die Kimmtiefe nach der Formel verbessert Nr. H 23 um $+0'.13$. Zeitliche Differenzen spielen nicht hinein. Die Lage ist schon an und für sich gut.

Von den Gestirnhöhen Nr. H 5 bis 8 wohnt Nr. H 7 eine Genauigkeit von $\pm 0'.57$ inne. $K_b - K_r$ beträgt für H 8: $+0'.20$, für H 6: $-0'.23$ und für H 5: $-0'.20$. Die Übereinstimmung mit der Ausgleichenden wird hiermit ausgezeichnet. Es sind Morgenbeobachtungen der Wega von verschiedenen Tagen.

Bei Nr. H 11 fällt die Lufttemperatur steil ab, die Kimmtiefe war erst 15 Minuten nach der Sternhöhe meßbar. Dadurch habe ich der Beobachtung eine zu große Kimmtiefe zugeordnet. Die Verbesserung mit $K_b - K_r = +0'.20$ nähert die Höhe der Ausgleichenden erträglich.

Die Nr. A 5 und 6 sind Sonnenhöhen unter 6°.

Nr. A 10 bis 12 stellen Morgenhöhen des Sirius dar, von denen Nr. A 10 als Einzelhöhe nicht den gleichen Grad an Güte hat wie die anderen; ohne Zweifel spielt bei ihr trotz recht guter Zeit in erster Linie die Kimmgestalt hinein. Nr. A 11 besitzt nur die Genauigkeit von $\pm 0'.49$, Nr. A 12 würde durch die aus der errechneten Kimmtiefe hervorgehende Verbesserung von $+0'.11$ eine befriedigende Lage erhalten. Übrigens sind damit die Höhen des Sirius nicht erschöpft.

Die Kimmtiefen von Nr. A 1 und A 2 sind zu klein beobachtet worden, sie differieren mit der Formel um $-0'.26$ bzw. $-0'.12$: Nr. A 1 ist damit hinreichend erklärt. Bei Nr. A 2 heißt es im Protokoll: „Gerade brauchbar", so daß in diesem Fall trotz innerer Güte $= \pm 0'.08$

zu falscher Kimmtiefe in erster Linie ein entsprechender Höhenfehler kommt.

Nr. A 3 geht zu Lasten eines Aushilfsanschreibers laut Tagebuch.

Die Lage von Nr. A 4 muß voll als Fehler in der Höhenmessung genommen werden, der sich auch in bescheidenen Grenzen hält; der mittlere Fehler der Höhe ist ± 0′.13.

Da Nr. A 7 abends beobachtet wurde und die Kimmtiefen größer wurden, hat der Stern nur scheinbar die hohe Lage inne. Der Unterschied zwischen den benutzten Kimmtiefen und dem Formelwert beträgt — 0′.28.

Von Nr. A 8 und 9 unterscheidet sich erstere von der Formel um — 0′.37 (ein ausgesprochener Kimmtiefengang ist nicht erkennbar), letztere (eine Abendbeobachtung) um + 0′.10. Dazu kommt fraglos noch der typische Einfluß der Dämmerungskimm.

β) Folgerungen. Diese Sonderauswahl an etwas stärker ausschlagenden Beobachtungen beweist, daß eine ganze Anzahl hätte mit Fug und Recht als gestört verworfen werden können. Ich bin der Versuchung nicht erlegen, trotzdem die restliche Beobachtungszahl auch dann noch recht stattlich gewesen wäre. Es kam mir nicht darauf an, irgendwelche theoretische Ideallösung zu finden, sondern nachzuschauen, was ein Praktiker mit sorgsam beschafftem, aber durchaus normalem Material von unerzwungener Güte erreichen kann, mit einem Wort: Ich suchte eine praktisch brauchbare Lösung.

Es überrascht, daß die Temperaturmessung allein durchweg das gleiche oder aber besseres leistet als die direkte Kimmtiefenmessung. Bei den Gestirnbeobachtungen in der Dämmerung ist dies ohne weiteres erklärlich, da es einfach nicht möglich ist, jedem Kimmabstand durch Beobachtung eine zeitlich benachbarte Kimmtiefe zu verschaffen. Wenn das Material auch noch zu wenig umfangreich ist, um endgültig zu entscheiden, so zeigt doch schon diese kleine Auslese, daß die Frage: Formel oder Beobachtung? oder besser: Temperatur- oder Kimmtiefenmessung? ohne Zweifel eine eingehende Würdigung verdient. Dies ist nicht ein theoretischer Streit, sondern eine wichtige Angelegenheit praktischer Nautik. Man könnte einwenden, daß nur mit Größenordnungen operiert wurde, die für die Schiffahrt ohne Bedeutung sind. Demgegenüber ist aber festzustellen, daß das verwendete Material in der Praxis ohne Zweifel auch nicht in allen Fällen in seiner Güte erreichbar ist, so daß sich hier die fraglichen Irrtümer wesentlich stärker auswirken werden.

d) Gewichtsverteilung.

Für den Fortgang der Untersuchung reichte der Genauigkeitsgrad der Beobachtungen auch im einzelnen zwar hin; da das Material aber als völlig homogen und gleichwertig nicht angesprochen werden konnte, war ich gezwungen, für jeden Beobachtungswert das ihm gebührende Gewicht zu ermitteln und in die Rechnung einzuführen.

Damit bin ich auf dem im vorliegenden Fall besonders heiklen Gebiet der Gewichtsverteilung angelangt.

Zunächst sei festgestellt, daß mit den mittleren Fehlern gearbeitet wurde, Fälle mit nur zwei Gliedern ausgenommen. Ich war mir bewußt, daß dies streng nur bei einer größeren Zahl von Einzelwerten einen Sinn hat. Aber dieser Fehler schien deswegen im vorliegenden Fall den anderen Arten der Fehlerdarstellungen überlegen, weil er mehr noch als diese die höhere Zahl bevorzugt; und das deckte sich durchaus mit der einzuhaltenden Richtung.

Das gefühlsmäßige Moment auszuschalten, verbietet sich bei astronomischen Bordmessungen, weil sie in stärkster Abhängigkeit von Wind, Wetter, Kimmzustand, Momenten persönlicher Art u. dgl. m. gewonnen werden. Messungen auf der schwankenden Plattform des Schiffes, die von der Auffassungsgabe, der persönlichen Gleichung von mindestens zwei Beobachtern abhängen, und deren Objekte bewegliche Gestirne sind, müssen eben anders behandelt werden als solche landfester Art. Andererseits durfte der Objektivität nicht allzu starker Zwang angetan werden. Ich schlug deshalb folgenden Weg ein.

Die Fehlerquadratzahl jeder Beobachtung wurde auf Grund ihres mittleren Fehlers und desjenigen ihrer Kimmtiefe, die als gleichwertige Größen anzusehen waren, ermittelt und daraus jedem Wert dasjenige Grundgewicht zugeteilt, das ihm vermöge seiner Stellung innerhalb der ganzen Schar beteiligter Beobachtungen gebührte. Dabei wurden alle Fehlergrößen als gleich behandelt, die $\leq 0'.10$, der Meßschärfe der Instrumente, waren. Die Zahl 10 wurde als höchst erreichbares Gewicht festgesetzt, weil andernfalls die betroffenen Werte ein so starkes Übergewicht erhalten hätten, daß es in der Tat mit dem Ausmerzen einer ganzen Zahl von Beobachtungen gleichbedeutend gewesen wäre, was aber ausgeschlossen bleiben mußte. Andererseits bot die Zahlenfolge genügend Spielraum für alle vorkommenden Schattierungen. Einzelhöhen, da nicht geprüft, sollten ein für allemal das Grundgewicht 1 erhalten, Höhen unter 6° als Endgewicht nicht über 2.

Auf diesem Boden fußend, entwarf ich ein Schema, dem von Fall zu Fall die zuzuteilende Zusatzzahl entnommen wurde. Darin waren

Punktgruppen enthalten: 1. für Höhen unter 15°, der Strahlenbrechung wegen, 2. für das Beobachtungswetter, 3. für Schiffsbewegungen und 4. für besondere aus dem Tagebuch hervorgehende Eigenschaften der Messungen selbst, wie z. B. „Bisher beste Nordsternbreite", „Tadellos", „Zackige Kimm", „Gerade brauchbar" usw., 5. bei Sternen für den Zeitpunkt der Messung.

Aus diesen Komponenten setzte sich die Gewichtzahl zusammen. Eine derartige Gewichtsbestimmung ist recht umständlich und zeitraubend, hat sich aber als nützlich erwiesen und enthebt den Bearbeiter des Gefühls der Willkür, der er bei solch eigentümlichem Material leicht verfallen möchte.

Überall da, wo mit Gruppenmitteln gearbeitet werden mußte, setzte sich dagegen die Wertzahl einer Beobachtung lediglich aus den mittleren Fehlern und der Anzahl der Ursprungsglieder zusammen, wobei als Normalmaß eine Serie von vier Einzelwerten angesetzt wurde: für je zwei Glieder mehr oder weniger wurde ein Zusatzpunkt zugeschlagen. Hier war kein Raum mehr für gefühlsmäßige Einschätzung.

Die Gruppenmittel wurden stets so behandelt, als ob sie selber gewertete Beobachtungen wären.

e) Ausgleich nach der Methode der kleinsten Quadrate.

Bei dem Ausgleich der Höhenbeobachtungen auf „Hunte" wurden die Höhen unter 6° für die Ortsbestimmung ausgeschaltet. Auch für die Genauigkeitbestimmung waren sie fortzulassen, wenngleich es sich gezeigt hatte, daß sie bei genügender Vorsicht zur Ortung in praxi brauchbar sein können.

Ich setze für den „Hunte"-Ausgleich in der Fehlergleichung auf S. 83 den Faktor von $d\varphi = a$ denjenigen von $dt = b$ und $dh = l$:

$$l = a \cdot d\varphi - b \cdot dt \qquad a = \cos a$$
$$b = \sin a \cos \varphi .$$

Die Koeffizienten wurden errechnet, indem die zugehörigen Gewichte hinzugegeben wurden:

$[paa]$	$[pbb]$	$[pab]$	$[pal]$	$[pbl]$
+ 139.620	+ 78.102	— 22.945	— 72.136	+ 7.087.

Aus den Normalgleichungen:

$$a)\ [paa]\,d\varphi - [pab]\,dt - [pal] = 0,$$
$$b)\ [pab]\,d\varphi - [pbb]\,dt - [pbl] = 0$$

ergeben sich

$$dt = \frac{[p\,a\,l][p\,a\,b] - [p\,b\,l][p\,a\,a]}{[p\,a\,a][p\,b\,b] - [p\,a\,b][p\,a\,b]} \quad \text{und}$$

$$d\varphi = \frac{[p\,a\,l][p\,b\,b] - [p\,b\,l][p\,a\,b]}{[p\,b\,b][p\,a\,a] - [p\,a\,b][p\,a\,b]}.$$

Somit erhalte ich als numerische Werte:

1. $dt = 0'.064$
   $d\lambda = 4''$ mit der Sonne vom Südmeridian aus gerechnet
2. $d\varphi = -0'.527 = -32''$.
3. Daraus folgt der Abstand des wahren vom gegißten Schiffsort

$$dh_0 = 0'.528 = 32''; \quad a = 183°.9.$$

Also ist der astronomische Schiffsort der „Hunte“

$$\varphi = +56°\,25'\,38''; \quad \lambda = +11°\,53'\,52'',$$

Mittlere Fehler:

$$\varepsilon = \pm\sqrt{\frac{[v\,v]}{n-2}} = \pm 0'.60 = \pm 36'',$$

$$E_{dt} = \pm\sqrt{[b\,b\cdot 1]} = \pm 0'.17 = \pm 10'',$$

$$E_{d\varphi} = \pm\sqrt{[a\,a\cdot 1]} = \pm 0'.12 = \pm\ 7''.$$

Der mittlere Fehler von dh_0 ergibt sich durch partielle Differentiation

$$dh_0 = \sqrt{d\varphi^2 + dt^2\cos^2\varphi}.$$

$$\frac{\partial(dh_0)}{\partial(d\varphi)} = \frac{d\varphi}{dh_0} = \cos a^{1}), \quad \frac{\partial(dh_0)}{\partial(dt)} = \frac{dt\cos^2\varphi}{dh_0} = \cos\varphi\sin a^{1})$$

$$E_{dh_0} = \pm\sqrt{\cos^2 a\cdot\varepsilon^2_{d\varphi} + \sin^2 a\cdot\cos^2\varphi\cdot\varepsilon^2_{dt}}$$
$$= \pm 0'.12 = \pm 7''.$$

Dieselben Werte, über die Gewichtseinheit errechnet:

$$\varepsilon_1 = \pm 1'.26; \qquad \varepsilon = \pm 0'.69 = \pm 41'',$$
$$E_{dt} = \pm 0'.15 = \pm 9''; \quad E_{d\varphi} - \pm 0',12 = \pm\ 7''.$$

Die Übereinstimmung beider Fehlergruppen zeigt, daß man der Gewichtsverteilung zustimmen kann. Die Fehlerverteilung nach dem Ausgleich wird zusammen mit derjenigen auf „Adlergrund II“ behandelt werden.

Für den „Adlergrund II“-Ausgleich änderte ich die Fehlergleichung (s. S. 90). Indem ich $\cos\varphi\ dt = dt'$ als Unbekannte setze, wird in der Quadratsumme der beiden Koeffizienten:

[1]) a = Azimut.

$\cos^2 a + \sin^2 a = 1$, was eine leichte Rechenprobe ergibt, die sich auch als sehr nützlich erwies. Sonst entsprach der Gang der Rechnung dem vorigen Verfahren. (Eine Höhe unter 6° wurde einbezogen, da sie als besonders gut gelten konnte und die Bewertungspunkte die nötige Sicherheit schufen.)

Die Koeffizienten wurden gefunden zu:

[paa]	[pbb]	[pab]	[pal]	[pbl]
+ 284.653	+ 192.006	— 19.518	— 73.022	+ 58.073

und die gesuchten Werte:

4. $dt = -0'.483$
   $d\lambda = -29''$ gegen die Sonne
5. $d\varphi = -0'.237 = -14''$. Aus 4 und 5 folgt:
6. $dh_o = 0'.366 = 22''$ in einem Azimut von 130°.5.

Mittlere Fehler:

$$\varepsilon = \pm 0'.64 = \pm 38'',$$
$$E_{dt} = \pm 0'.11 = \pm 7', \quad E_{d\varphi} = \pm 0'.09 = \pm 6''.$$
$$E_{dh_o} = \pm 0'.08 = \pm 5''.$$

Und über die Gewichtseinheit:

$$\varepsilon_1 = \pm 1'.3, \quad \varepsilon = \pm 0'.63 = \pm 38''.$$
$$E_{dt} = \pm 0'.09 = \pm 6'', \quad E_{d\varphi} = \pm 0'.08 = \pm 5''.$$

Die beiden Gruppen stimmen gut überein. Um einen klaren Überblick zu gewinnen, wurden die Normalgleichungen ohne Gewicht aufgelöst. Das Ergebnis zeigte einen Unterschied gegen den gewichteten Wert von 7' im Azimut und 4" bei dh_o, was einen linearen Abstand von 145 m bedeutete, praktisch überhaupt belanglos war und unterhalb der Meßschärfe lag.

Die Fehlerquadratsumme war bei „Hunte" von 35.0 auf 27.4 und bei „Adlergrund II" von 32.9 auf 32.0 zurückgegangen. Als ich nun die Fehlerreste ihrer Häufigkeit nach ordnete, fand ich: Gliederzahl = 1. Intervall = 0'.2.

Intervalle	„Hunte" Gliederzahl 74		„Adlergrund II" Gliederzahl 80	
— 0'.1 bis + 0'.1	0.14		0.11	
zwischen 0'.1 und 0'.3	+ 0.11	— 0.12	+ 0.10	— 0.22
„ 0'.3 „ 0'.5	+ 0.14	— 0.11	+ 0.16	— 0.08
„ 0'.5 „ 0'.7	+ 0.15	— 0.08	+ 0.07	— 0.10
„ 0'.7 „ 0'.9	+ 0.05	— 0.07	+ 0.04	— 0.10
„ 0'.9 „ 1'.1	+ 0.01	— 0.01	+ 0.00	— 0.01
„ 1'.1 „ 1'.3	+ 0.00	— 0.03	+ 0.01	— 0.01

Ich war zwar darauf gefaßt gewesen, daß die Fehlerreste sich nicht glatt dem Fehlergesetz fügen würden, da sich in einer Reihe der benutzten Werte systematische Fehler verbargen. Selbst dafür aber befriedigte das Ergebnis nicht. Ich untersuchte deshalb, ob sich nicht auf andere Weise das Ergebnis verbessern ließe als durch Ausmerzen verfälschter Werte.

f) Analytische Darstellung.

Die Höhendifferenzen, die als Funktion der Azimutunterschiede eine Kosinusschwingung erfüllen müssen (S. 84), wurden auf gewöhnlichem Wege analysiert, wozu es erforderlich wurde, die Einzelwerte in Gruppenmitteln zusammenzufassen. Hierbei war die ungleichmäßige Bewegung der Gestirne und der Ablauf der Funktion zu beachten: als Höchstintervall des Azimuts für die Zusammenfassung setzte ich deshalb grundsätzlich 20° an, wovon auch nur an Stellen um ein Weniges abgewichen wurde, wo geradlinig interpoliert werden durfte. So war gesichert, daß in die Mittel durch das Zusammenlegen keine höheren Unstimmigkeiten als 0′.1 hineinkommen konnten. Da die Wertigkeit der so gewonnenen Gruppenmittel immer noch nicht durchweg gleichartig genug war, wurden aus ihnen zweite Gruppenwerte errechnet. Ich schlug verschiedene Wege ein und verglich sie miteinander. Ob aber übergreifend immer drei Werte zusammengelegt oder die neuen Gruppenmittel aus nur zwei Nachbargliedern gebildet wurden, von denen die hochwertigen mit ausgezeichneter Zahl von Gliedern selbständig blieben, oder ob das Ursprungsmaterial freihändig ausgeglichen wurde, es zeigte sich keine der Methoden den übrigen so überlegen, daß sie allein in Betracht gekommen wäre. Ich entschied mich für die Darstellung durch Mittelwerte aus zwei ersten Gruppenmitteln, da sie sich am ungezwungensten ergab.

Nur die Beobachtungen von „Adlergrund II“, die sich gleichmäßig genug über den ganzen Horizont verteilten, eigneten sich für eine rechnerische Analyse. Für die Pendelschwingung der Höhendifferenzen fand ich, indem ich für den veränderlichen Winkel Vielfache von 15° vorsah, den Ausdruck

$$+ 6''.00 - 14''.00 \cdot \cos x + 18''.36 \sin x$$

und daraus den

Mittelwert $C = + 6'' = + 0'.10$ und die

Amplitude $A = 23'' = 0'.38$ in der Phase $-37{,}3°$,

woraus sich für die Ausweitung das

Azimut $a = 142.7°$ ergab.

Zur Probe wurde ausgerechnet:

a) Aus übergreifenden Mitteln:

$$A = 0'.40;\ a = 141.2°;\quad C = +0'.12;$$

b) aus den ersten, unbewerteten Gruppenmitteln:

$$A = 0'.37;\ a = 144.8°;\quad C = +0'.10.$$

Zum Vergleich mit dem aus der Methode der kleinsten Quadrate hervorgegangenen Ergebnis fand ich in $d\,h_0 = A + C = 0'.48$ einen Wert, der mit jenem befriedigend übereinstimmt, und einen Azimutunterschied, der mit 12° beträchtlich erscheint. Wegen der Kleinheit der Amplitude wird damit der Abstand der Schiffsörter nur 270 m, was der Meßschärfe entspricht. Der Mittelwert C besagt nichts anderes, als daß in dem benutzten Material noch systematische Abweichungen konstanter Art von dieser Größenordnung enthalten sind. Denn jede wirkliche Verschiedenheit des gegißten vom wahren Schiffsort vermag sich nur in dem periodischen Teil der Funktion auszudrücken.

Eine Parallelverschiebung in unserem Diagramm entspricht einer Ausweitung des Schiffspunktes zu einem Schiffskreis, dessen Radius eben C ist. d. h. die Gestirnshöhen sind durchweg um C zu groß gemessen worden, was seinen Grund in der Hauptsache haben konnte in

einem konstanten Fehler der Kimmtiefen,
einem entsprechenden Indexfehler des Sextanten
oder in der Höhenmessung selbst.

Da die Realität des konstanten Gliedes seines geringen Wertes wegen nicht voll gesichert erschien, war es schwer, eine Entscheidung zu fällen, jedoch glaubte ich mit Sicherheit annehmen zu können, daß die beiden ersten Punkte dafür nicht herangezogen werden durften.

Denn die Beschickung war variabel bei Gerät Nr. 5120, das mit wenig Ausnahmen benutzt wurde, und ein konstanter, persönlicher Meßfehler hatte nicht festgestellt werden können.

Auch Index- und sonstige Instrumentalfehler hatten eine erhebliche Veränderlichkeit aufzuweisen.

Demnach blieb als mögliche Ursache nur die persönliche Gleichung des Beobachters für die astronomischen Beobachtungen übrig, was auch am plausibelsten erschien.

Damit war ich auch berechtigt — gleiches Instrument mit gleichen Eigenschaften, gleicher Beobachter —, die Höhendifferenzen der „Hunte“ in gleicher Weise mit $C = +0'.10$ zu beschicken. In diesem Sinne wurden die „Hunte“-Beobachtungen verbessert und in An-

lehnung an die Darstellung nach der Methode der kleinsten Quadrate eine ausgleichende Kurve gezogen. Tafel 8 Kurve IVb.

Nunmehr ergeben sich folgende Werte für die Genauigkeit:

1. „Hunte“: $\varepsilon = \pm 37'' = \pm 0'.61$,
2. „Adlergrund II“: $\varepsilon = \pm 37'' = \pm 0'.62$.

Die Fehlerquadratsumme war bei „Hunte“ von 35.0 auf 26.9 und bei „Adlergrund II“ von 32.9 auf 29.9 zurückgegangen.

Die Fehlerverteilung ist dann bei einem Intervall von 0'.2, Gliederzahl = 1:

Intervalle	„Hunte“ Gliederzahl 74		„Adlergrund II“ Gliederzahl 80	
	0.15		0.20	
— 0'.1 bis + 0'.1				
zwischen 0'.1 und 0'.3	+ 0.10	— 0.12	+ 0.14	— 0.11
„ 0'.3 „ 0'.5	+ 0.10	— 0.13	+ 0.10	— 0.10
„ 0'.5 „ 0'.7	+ 0.07	— 0.10	+ 0.05	— 0.10
„ 0'.7 „ 0'.9	+ 0.08	— 0.04	+ 0.04	— 0.03
„ 0'.9 „ 1'.1	+ 0.03	— 0.01	+ 0.01	— 0.05
größer als 1'.1	+ 0.01 + 0.03	— 0.03	+ 0.04 + 0.01	— 0.01 — 0.01

Der Genauigkeitsgrad entspricht demjenigen, der nach dem Ausgleich nach der Methode der kleinsten Quadrate gefunden wurde, die Fehlerverteilung befriedigt. Damit konnte ich mich nach allem zufrieden geben und baute die weiteren Untersuchungen auf den so beschickten Werten auf. Ich nahm die Fehlerprüfung davon aus, weil das Reduktionsglied vom nautischen Standpunkt aus als reell nicht anerkannt werden durfte, andererseits aber auf Grund der Fehlerbestimmung nennenswerte Unterschiede nicht zu befürchten waren.

g) Die Schiffsörter.

Der Ort der „Hunte“ wird nach der harmonischen Analyse:

1. $\varphi = + 56° 25' 44''$, $\lambda = + 11° 53' 54''$, $E = \pm 0'.12$,

entgegen dem durch die Methode der kleinsten Quadrate ermittelten:

2. $\varphi = + 56° 25' 38''$, $\lambda = + 11° 53' 52''$, $E = \pm 0'.12$.

Der terrestrische Schiffsort lag auf

3. $\varphi = + 56° 25' 54''$, $\lambda = + 11° 53' 38''$, $E = \pm 0'.05$.

Man sieht daraus. daß die Analyse in der Tat Brauchbares geleistet hat. Der Vergleich von 1. und 3. ergibt:

$$\Delta\varphi = 10'' = 310\text{ m}, \qquad \Delta\lambda = 16'' = 280\text{ m}$$

und daraus den Gesamtabstand $= 0'.22 = 400$ m.

Die Meßschärfe betrug 0'.17, so daß die beiden Schiffsörter als zusammenfallend angesehen werden können, wobei es trotz des nicht unerheblichen Unterschiedes der mittleren Fehler recht zweifelhaft sein kann, ob der terrestrische Ort dem astronomischen in diesem Fall überlegen ist.

Den wahren Schiffsort des Feuerschiffs „Adlergrund" zu errechnen, erübrigt sich.

h) Mittlere Fehler der Gestirnskategorien.

1. Sonnenhöhen allein:

a) Hunte (51 Glieder) $\varepsilon = \pm 32'' = \pm 0'.54$
b) Adlergrund II (39) $\varepsilon = \pm 31'' = \pm 0'.51$
} zusammen $\pm 0'.52$.

Sternhöhen allein:

a) 22 Glieder $\varepsilon = \pm 45'' = \pm 0'.75$
b) 37 Glieder $\varepsilon = \pm 46'' = \pm 0'.77$
} zusammen $\pm 0'.75$.

Unter den Gestirnen zu b) befindet sich eine besonders große Zahl bei Tageskimm gemessener Sterne.

2. Sonne allein:

Vormittagshöhen $> 10°$:

a) 25 Glieder $\varepsilon = \pm 30'' = \pm 0'.50$
b) 12 Glieder $\varepsilon = \pm 22'' = \pm 0'.37$
} zusammen $\pm 0'.45$.

Mittagsbreiten:

a)
b)
} 8 Glieder $\varepsilon =$ $\pm 0'.75$.

Mittägliche Höhen ($a = 170°$ bis $190°$):

a) 6 Glieder $\varepsilon = \pm 47'' = \pm 0'.79$
b) 7 Glieder $\varepsilon = \pm 36'' = \pm 0'.61$
} zusammen $\pm 0'.63$.

Nachmittagshöhen $> 10°$:

a) 19 Glieder $\varepsilon = \pm 27'' = \pm 0'.46$
b) 16 Glieder $\varepsilon = \pm 34'' = \pm 0'.56$
} zusammen $\pm 0'.49$.

Höhe unter $10°$:

a)
b)
} 9 Glieder $\varepsilon =$ $\pm 0'.89$.

Sonnenhöhen lassen also ein wesentlich genaueres Ergebnis im Schiffsort erwarten als Sternbeobachtungen, auch dann, wenn diese über hellen Kimmen stehen: „Adlergrund II“ und „Hunte“ sagen bei guter Beobachtungszahl das gleiche aus.

Daß Sonnenhöhen unter 10° möglichst zu vermeiden sind, ist eine alte Regel der Schiffahrt, sie sind aber praktisch brauchbar, wenn man besondere Vorsicht übt.

Dagegen fällt der geringe Schärfegrad der Mittagsbreiten auf, selbst wenn die geringe Zahl der Einzelglieder berücksichtigt wird; auch die Höhen um den Mittag herum schlagen aus dem sonstigen Rahmen beträchtlich heraus, sie sind allerdings genauer als jene.

Vor- und Nachmittagsbeobachtungen sind völlig gleichwertig.

Setzt man die mittäglichen Höhen mit 13 Gliedern in Vergleich zu den Vor- und Nachmittagshöhen auf Adlergrund mit je etwa der gleichen Gliederzahl, so wird das Verhältnis sogar noch schlechter.

Diesem Ergebnis gegenüber sind die Ansichten und Gepflogenheiten des Praktikers von Interesse. Ein alterfahrener Kapitän schreibt mir:

„Ich habe es immer vorgezogen, und dies geschieht auch heute noch durch den guten Nautiker, Sternhöhen zu nehmen. Denn ich habe ausgefunden, daß das Tangieren eines Sterns auf dem Horizont genauer gemacht werden kann, als das Tangieren der Sonne.

Ich habe aus langjähriger, eigener Erfahrung, die ich auch jetzt wieder von Praktikern bestätigt bekommen habe, immer einer Sternhöhe in der Dämmerung den größeren Vorzug gegeben wegen ihrer Genauigkeit.

Ich habe immer, und dieses wird mir auch bestätigt, eine Höhenserie einer Einzelhöhe vorgezogen. Bei klarer Kimm habe ich aus der Serie interpoliert, bei unklarer Kimm habe ich auch die Höhen einzeln errechnet, um erst einmal festzustellen, ob in dem Resultat selbst große Unterschiede vorhanden sind. Auf jeden Fall werden meist bei jeder Beobachtung drei Höhen kurzzeitig genommen.“

Ein anderer Kapitän äußert sich:

„Es besteht eigentlich keine Veranlassung, geringe und ganz geringe Höhen zu vermeiden, wenn man bei kleinen Höhen die Strahlenbrechung für Lufttemperatur und Barometerstand berichtigt. Besonders in der Nordatlantikfahrt und vor allem im Winter ist man fast täglich dazu gezwungen. Sie geben brauchbare Resultate.

Vor- und Nachmittags genommene Beobachtungen stimmen sehr oft nicht überein.

Bei unsichtigem Wetter geht man zur Beobachtung auf niedere Decks. Ich selbst habe mich einmal im Roten Meer bei einem Sandsturm bis 1½ m über Wasser fieren lassen. Die Kimm war von Deck gar nicht, von unten gut und scharf sichtbar. Die Standlinie erwies sich als tadellos richtig."

Kapitän Frhr. v. Schrötter[1]) erklärt, daß im allgemeinen die Nachmittagshöhen als zuverlässiger gelten als die Vormittagshöhen.

Meine eigenen Erfahrungen im In- und Ausland als Navigateur, Vermessungsoffizier und Kommandant gehen dahin, daß das beste Besteck zwar am Abend oder Morgen noch kurz außerhalb der Dämmerung oder bei deren Beginn von mehreren praktisch gleichzeitig beobachteten Sternen geliefert wird, wenn man die Ortung nach der Sonne und einem Planet am Tage ausläßt, da sie als Spezialfall anzusehen ist, daß aber eine Einzelmessung allgemein am sichersten auf der Sonne basiert und ein Stern über einer hellen Tageskimm der Sonne ebenbürtig ist. Es spielen hier viele gefühlsmäßige Momente hinein, welche die Begriffe „Besteck" und „Einzelmessung" auch leicht ineinander übergehen lassen. Die große Wertschätzung der Mittagsbreite, die immer noch sehr häufig angetroffen wird, hat im Zeitalter der technischen Navigation nur noch bedingte Berechtigung.

4. Beziehung der Kimmabstände zu den meteorologischen Elementen.

a) Beziehung zum senkrechten Temperaturgefälle.

Ein im wahren Schiffsort genommener fehlerfreier Kimmabstand ergibt die Kimmtiefe, wenn die wahre Höhe über dem Horizont — errechneter Höhenwert — abgezogen wird. Beschickt man also die Höhe h_r des gegißten auf den wahren Schiffsort und bildet dann die Höhendifferenz $d\,h_{K\,o}$ = Kimmabstand — h_r, so erhält man einen Wert, der der beobachteten Kimmtiefe gleich sein sollte. Wird der auf die Kimm bezogene Höhenunterschied mit $d\,h_K$ und die Beschickung auf den wahren Schiffsort mit $d\,h'$ bezeichnet, so nimmt der Ausdruck die Form an: $d\,h_{K\,o} = d\,h_K - d\,h'$, und die Hebung der Kimm über einer gegebenen festen Kimmlage K_t wird durch $(d\,h_K - d\,h') - K_t$ dargestellt.

---

[1]) L. V. 22, S. 162.

Die Reduktionsgrößen lieferte die ortgebundene, periodische Schwingung von $d h_K$.

Zunächst wurde das Material von „Adlergrund II“ in seiner Gesamtheit behandelt, da hier allein der scharfe harmonische Ausgleich möglich und gleichzeitig die Zahl der Beobachtungswerte groß war. Zugrunde gelegt wurden Gruppenmittel (S. 93). Die Analyse brachte folgenden Ausdruck:

$$+ 39''.0 - 16''.1 \cos x + 14''.4 \sin x.$$

Hieraus folgte:

Amplitude $A = 0'.35$, Azimut $a = 131.9°$, Mittelwert $C = +0'.65$.

Damit waren die Beschickungswerte auf den wahren Schiffsort, die im Maximum 0'.35, und zwar im Azimut 131.9° betrugen, leicht berechnet. Sie wurden auf sämtliche Kimmabstände angewandt. (Tafel 8 Kurve III.)

Die beschickten Werte für die Hebung der Kimm

$$\Delta K_t = (d h_k - d h') - K_t^{1})$$

wurden als Funktion des Temperaturgefälles (Luft — Wasser) gemäß $\Delta K_t = a + b \Delta t°$ nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Das Ergebnis war: Abb. 36.

$$\Delta K_t = - 0'.59 - 0'.34 (t_a° - t_w°).$$

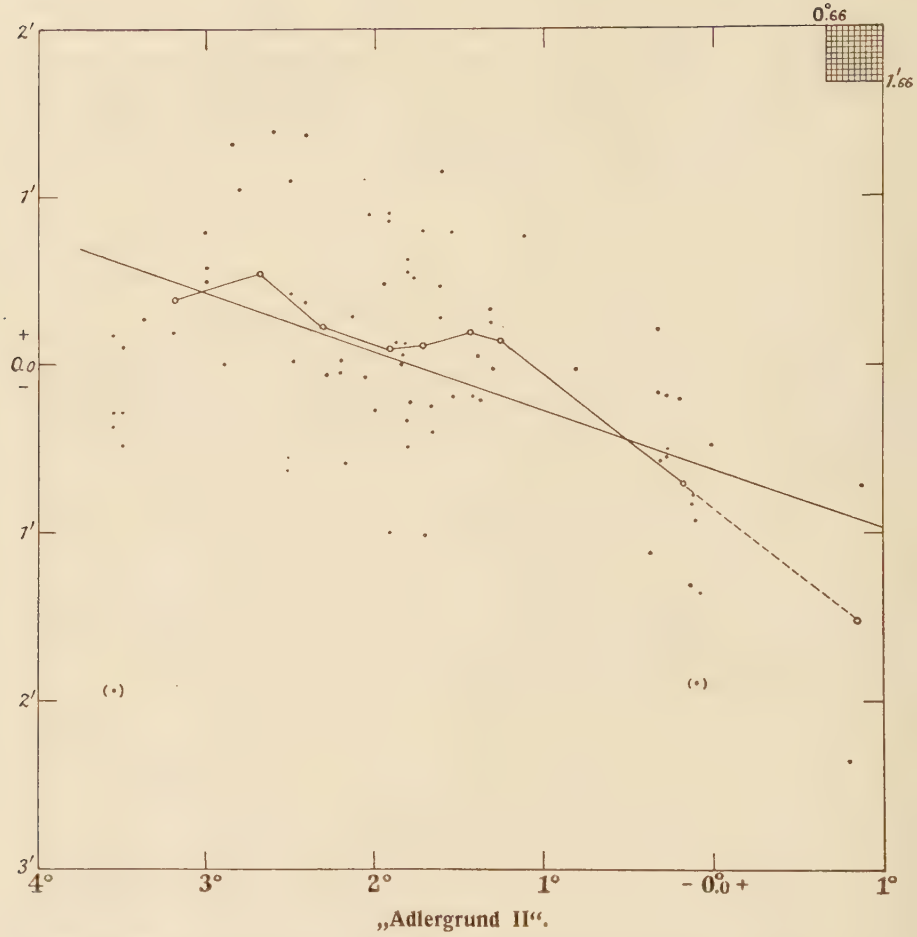
Damit war die Abhängigkeit der Kimmabstände von den Kimmanomalien erfaßt. Das Absolutglied zeigt eine erheblich stärkere konstante Hebung an, als es vom Wurzelfaktor 1'.779 gefordert wird. Die Abhängigkeit von dem Temperaturgang deckt sich etwa mit dem im Kapitel IV gefundenen Richtungsfaktor. Daß jenes Glied von gleicher Größenordnung ist wie der konstante Anteil der harmonischen Analyse, weist auf eine gemeinsame Ursache hin. Als solche wären Seegang und Sonnenstrahlung (Kimm der Höhen = Sonnenkimm) denkbar. Mehr auszusagen wäre verfehlt, da ich die Brücken- und Deckswerte zusammengefaßt habe. Immerhin war die Verbesserung, die die Originalwerte nach Beseitigung dieses Einflusses erfuhren, beachtlich: Die Fehlerquadratsumme ging von 41.3 auf 26.3 ($\varepsilon = \pm 0'.72$ und $\pm 0'.57$) zurück.

Nunmehr schritt ich dazu, das Material nach Augeshöhen getrennt zu behandeln. Nach freihändigem Ausgleich der Gruppenmittel auf der Peilbrücke der „Hunte“ wurden die erforderlichen Be-

---

[1]) K_t = Tafelwert = $1.779 \sqrt{A. H.}$.

Abb. 36.



„Adlergrund II".

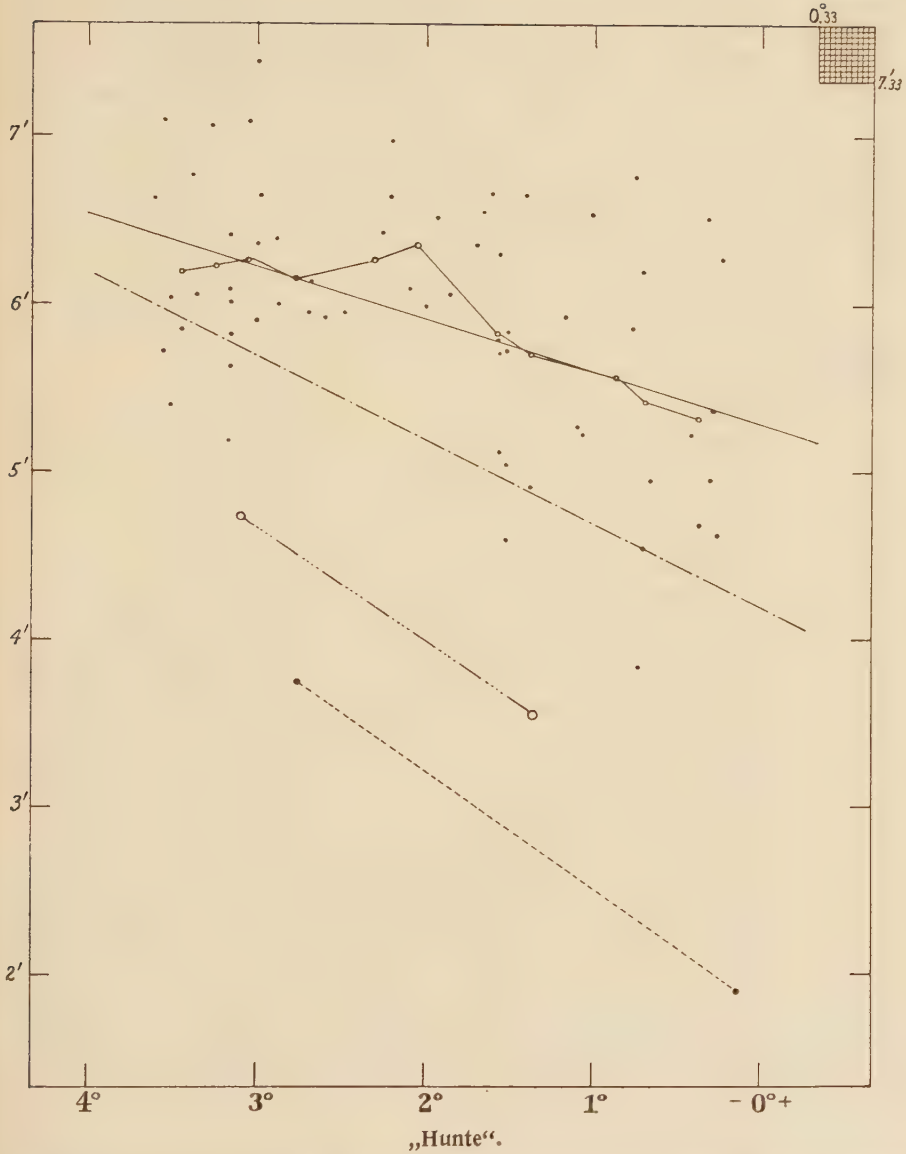
Unterschied zwischen der Differenz $(d\,h_k - d\,h')$ und der Tafelkimmtiefe (1'.779) A.H.) als Funktion des Temperaturgefälles zwischen Augeshöhe und Wasser. Deck und Brücke zusammengefaßt.
○ = Gruppenmittel. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. · = Einzelwert.
(·) = Gestörte Werte.

schickungswerte ermittelt, an das Material angebracht und dann n. d. M. d. kl. Qu. für die Beziehung zum Temperaturgefälle folgender Ausdruck gefunden (Abb. 37):

$$d\,h_{K\,0} = +\,5'\,29 - 0'.31\,(t_a^\circ - t_w^\circ);\ \varepsilon = \pm\,0'.64\,.$$

Ein gleiches geschah mit den Beobachtungen vom Deck auf „Adlergrund II", nachdem das Material von den Sturmhöhen,

Abb. 37.



„Hunte".

Differenz der beobachteten Kimmabstände und der errechneten Höhen, auf den wahren Schiffsort beschickt, als Funktion des Temperaturgefälles zwischen Augeshöhe und Wasser. o = Gruppenmittel. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu. für Peilbrücke. • = dh_{ko}. ——— · ——— = Brückenwerte (6). ——— ···· ——— = Deckswerte (8). ····· = Bootswerte (2).

die in der Gesamtzusammenfassung enthalten waren, befreit und neue Gruppenmittel gebildet waren. Die Formel lautete (Abb. 38):

$$d\,h_{K\,0} = +\,3'.29 - 0'.27\,(t_a^\circ - t_w^\circ):\ \varepsilon = \pm\,0'.58\,.$$

Die Brückenwerte von Adlergrund II lieferten die empirisch gefundene Gleichung:

$$d\,h_{K\,0} = +\,4'.42 - 0'\,29\,(t_a^\circ - t_w^\circ)\,.$$

Ein Blick auf die Ausdrücke, die auf Grund der Kimmtiefenmessungen abgeleitet wurden (S. 33 und 58), zeigt völlige Übereinstimmung.

Interessant ist der gleichförmige Verlauf an Bord der „Hunte" für alle Augeshöhen.

Fehleranordnung.

Intervall 0'.2, Gliederzahl = 1.

„Adlergrund":	„Hunte":
Fehlerquadratsumme	
13.9	25.1
gegen vorher	
39.3	97.9

Intervalle	„Adlergrund II" Deck Gliederzahl 43		„Hunte" Peilbrücke Gliederzahl 63	
— 0'.10 bis + 0'.10	0.21		0.13	
zwischen 0'.1 und 0'.3	+ 0.16	— 0.12	+ 0.13	— 0.13
„ 0'.3 „ 0'.5	+ 0.07	— 0.07	+ 0.05	— 0.11
„ 0'.5 „ 0'.7	+ 0.02	— 0.09	+ 0.08	— 0.08
„ 0'.7 „ 0'.9	+ 0.02	— 0.07	+ 0.08	— 0.05
„ 0'.9 „ 1'.1	+ 0.05	— 0.07	— 0.06	— 0.05
„ 1'.1 „ 1'.3	+ 0.05	— 0.00	+ 0.03	— 0.03

Die Frage, ob nicht schon ein entsprechend hoher Wurzelfaktor allein Genügendes leisten würde, sei mit einem Hinweis auf die Fehlerquadratsumme abgetan, die wir mit einer solchen Konstanten von 1.92 erhielten: Sie ist für „Adlergrund II", Deck: 22.9 und für „Hunte", Peilbrücke: 55.2, liegt also erheblich oberhalb der soeben gefundenen Quadratsumme.

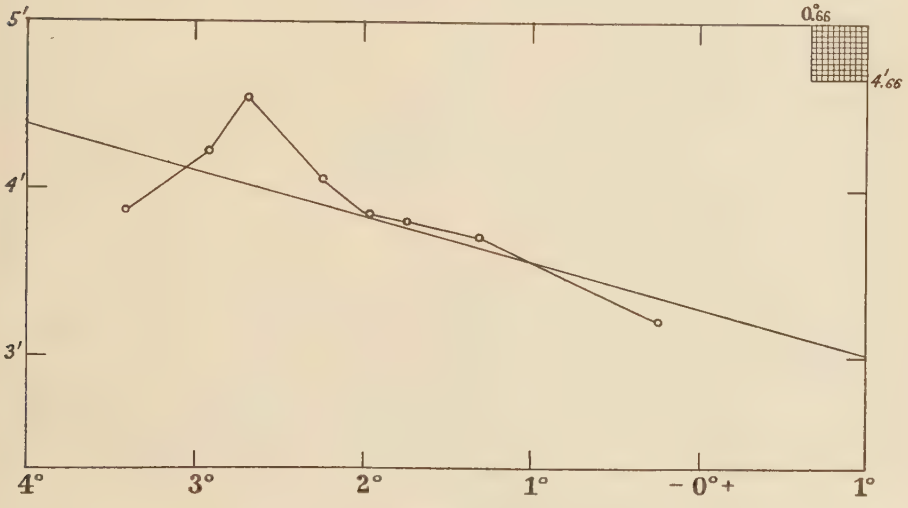
b) Einfluß des Seegangs.

Jetzt kann über das Absolutglied = — 0'.59 des Ausdrucks für eine Hebung der Kimm (S. 99) entschieden werden: Die Schuld trifft allein den Seegang, dessen großer Einfluß in dieser beträchtlichen Hebung eindrucksvoll zutage tritt.

c) Lage der Sonnenkimm.

Weiterhin kann man dem Kimmtiefenvergleich entnehmen, daß die astronomischen Beobachtungen eine Wirksamkeit der Sonnenstrahlung auf die Gestirnkimm nicht offenbarten. Sonst hätten die zuletzt errechneten Formeln für Kimmtiefen mit denjenigen der beobachteten Kimmtiefen nicht übereinstimmen können, da diese auf strahlungsfreien Kimmen beruhen. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß der Unterschied zwischen Sonnen- und unbestrahlter

Abb. 38.



„Adlergrund II".

Differenz der an Deck beobachteten Kimmabstände und der berechneten Höhen, auf den wahren Schiffsort beschickt, als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Augeshöhe und Wasser. ○ = Gruppenmittel. ——— = Ausgleichende n. d. M. d. kl. Qu.

Kimm lediglich eine Eigenart der Kimmessungen darstellt und eine physisch-optische Angelegenheit ist. Für alle Kimmtiefenbeobachtungen behält diese Frage aber ihren Wert. Da je nach der Lichtstärke des Fernrohres, seiner Schärfe und der Art des Abblendens der Kimm bzw. Sonne eine vielleicht erhebliche Unsicherheit in das Ergebnis hineinkommen kann, scheinen mir weitere Versuche nach dieser Richtung nicht überflüssig zu sein.

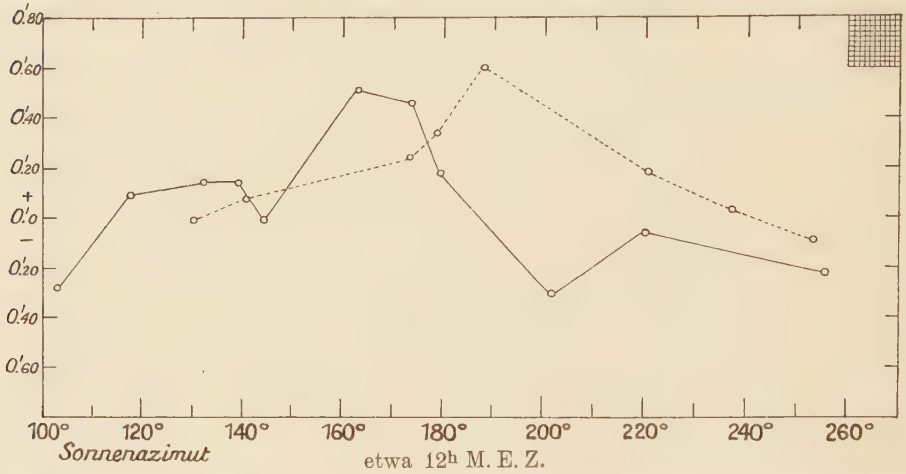
Vor allen Dingen ist nunmehr die Sicherheit gegeben, daß die von mir beobachteten Kimmtiefen von systematischen Fehlern frei sind:

Die Werte der Eichung sind richtig, desgleichen die Messungen mit dem Sextanten und die Bestimmung seiner Fehler.

d) Täglicher Gang.

Die Restabweichungen der abgeleiteten Formeln als Funktion des Azimuts der Sonne zeigen (Abb. 39) augenscheinlich eine Abhängigkeit in dem für die Kimmtiefen erhaltenen Sinne (S. 64 ff.).

Abb. 39.



Die Restabweichungen der Kimmabstände sind zu Gruppenmitteln zusammengefaßt worden. Die durchschnittliche Abweichung des Einzelwertes von dem Linienzug beträgt auf „Hunte" ± 0′.34 und auf „Adlergrund II" ± 0′.29.
——— = Peilbrückenbeobachtungen auf „Hunte". - - - - = „Adlergrund II"-Beobachtungen (S. 100).

Sicher scheint ein Höchstwert bei höchstem Sonnenstand oder bald danach und ein Durchgang durch die Nullage am Vor- und Nachmittag zu sein. Die Senkung der Kimm im Laufe des Tages, aus den Höhenbeobachtungen abgeleitet, hatte, von der Abszissenachse aus gerechnet, einen Betrag bis zu etwa 0′.5 und nahm gegen Sonnenauf- und -untergang negative Werte an; daß die beobachteten Kimmtiefen einen geringeren Betrag zeigen, hängt wahrscheinlich mit der Messung von Kimmpaaren zusammen.

Eines genauen Ausgleichs und weiterer Diskussionen enthalte ich mich, da das Material für eine bündige Aussage noch zu kärglich ist.

Offenbar liegt ein täglicher Gang des Strahlenbrechungskoeffizienten vor uns, der bisher über Wasser, soweit mir bekannt, für unwahrscheinlich gehalten wurde.

Für die Luftschichten über dem Festlande ist ein solcher täglicher Gang der Strahlenberechnung mit einem Mindestwert über Mittag nachgewiesen worden (Baeyer, Bauernfeind, Hartl[1]). Genau ebenso verhalten sich meine Beobachtungen, da mit einer Abnahme des Brechungskoeffizienten die Kimm absinkt, die Kimmtiefen also größer werden.

Linggs Beobachtungen[2]) am Starnberger See können zum Vergleich nicht herangezogen werden, er fand einen täglichen Gang, der jedoch mit unserem Ergebnis nicht im Einklang steht.

Jetzt wird die eigentümliche Genauigkeitsreihe der Höhengruppen (S. 96) entschleiert, insbesondere die hervorstechende Stellung der Vor- und Nachmittags- und die mindere Wertigkeit der mittäglichen Sonnenhöhen.

5. Vergleich der Beobachtung und Berechnung der Kimmtiefen.

a) Einfluß der verschiedenartigen Horizontreduktionen.

Schließlich beschickte ich die Höhenbeobachtungen nach den abgeleiteten Kimmtiefenformeln, wobei ich die „Adlergrund"-Beobachtungen ebenfalls den „Hunte"-Formeln unterwarf. Gleichzeitig wandte ich Kohlschütters Formel an (S. 71). Man ersieht aus den Tafeln 8 und 9 alle daraus entspringenden Zusammenhänge. Einige erklärende Worte seien hinzugefügt. Auf Tafel 8 liegt die Kurve III a den streng reduzierten Kurven I, II und IV näher, als es sowohl die Größen der Temperaturglieder wie das Verhältnis der Augeshöhenkonstanten erwarten lassen. Dies kommt daher, daß ihre Höhen als seeganggestört zu klein gemessen und als Kimmtiefen feste Tafelwerte eingesetzt sind, so daß der Linienzug allgemein um die Seegangverbesserung zu tief liegt.

Der scharfe Einbruch im Azimut 160° ist in der Einzeluntersuchung hinreichend geklärt (S. 87 und Tafel 6).

Die bereits auf S. 88 aufgeworfene Frage kann endgültig dahin beantwortet werden: Die Kimmtiefenberechnung aus gemessenen Temperaturgradienten vermag die unmittelbare Beobachtung der Kimmtiefe zu ersetzen.

Zwischen der Darstellung nach Kohlschütter und Conrad besteht praktisch kein Unterschied. Ihre Eigenart bringt es mit sich, daß gerade in den Gebrauchsstufen der Temperaturgradienten — Luft kälter

[1]) L. V. 23, S. 541 f. — [2]) L. V. 17, S. 163.

als Wasser, wie es auf See in der Hauptsache anzutreffen ist — eine überraschende Übereinstimmung besteht. Auf der andern Seite vom Nullpunkt würden sich natürlich etwas größere Unterschiede ergeben. Daß die entsprechenden Kurven I und II auf Tafel 8 tiefer liegen als diejenigen beobachteter Größen — im Gegensatz zu der ausgezeichneten Lage zur Ausgleichenden bei den „Hunte"-Werten —, hat seinen Grund wiederum darin, daß letztere seegangfrei, die beiden ersten aber seegang-gestört sind.

b) Urteil über das Ausgleichverfahren nach Conrad.

Klar erkennbar tritt der Vorteil der neuen Methode, die gemessenen Höhen bzw. Höhenunterschiede nach dem Azimut zu ordnen und sie gemäß ihrer gesetzmäßigen Folge zu behandeln, hervor. Der Nautiker kann bei größerer Zahl von Beobachtungen mit der üblichen graphischen Standlinienkonstruktion nur schwer eine befriedigende Lösung finden, einen Anhalt über den seinen Beobachtungen innewohnenden Wert gewinnt er nicht. Er vermag nur so zum Ziel zu gelangen, daß er mit Teillösungen arbeitet, die er dann zusammenfaßt. Auf einem solchen Weg ein einigermaßen objektives Ergebnis zu finden, ist fast aussichtslos.

Das leistet aber das von mir benutzte Verfahren, das dem wissenschaftlich oder vermessungstechnisch arbeitenden Nautiker noch dazu die Hand bietet, einen strengen Ausgleich vorzunehmen oder aber diesen in seiner Strenge je nach Bedarf bis zur freihändigen Konstruktion zu drosseln. Abgesehen davon, daß auch die größtmögliche Einzelgliederzahl voll überblickt und in ihrer Güte bis ins einzelne verfolgt werden kann, bietet der rechnerische oder auch geometrisch-freihändige Ausgleich keine Schwierigkeit, systematische Fehler können mit leichter Mühe in Verlagerungen des Koordinatensystems erkannt werden. Als Beispiel hierfür sei außer dem Gebrauch, der davon bereits gemacht wurde, darauf hingewiesen, daß sich die Nullinie im Abdriftwinkel einstellen muß, wenn das verankerte Schiff ins Treiben gerät. Nun soll nicht verkannt werden, daß die Voraussetzungen in der nautischen Praxis selbst selten gegeben sein werden. Bei Strommessungen in der offenen See, vom verankerten Schiff aus („Meteor"), und in der Vermessungspraxis dagegen wird diese Art der Verwendung astronomischer Beobachtungen von Nutzen sein können. Es empfiehlt sich für die praktische Anwendung, die Beobachtungen mehrerer Beobachter, deren persönliche Gleichung festzustellen wäre, wie es in der Nautik sowieso zu geschehen pflegt, heranzuziehen. Dadurch würde wohl stets ohne besondere Schwierigkeit eine hinreichende Zahl an Einzelwerten gewonnen werden können.

VI. Zusammenfassung.

1. Hauptpunkte der Untersuchung.

Kurze Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse:

a) Der Genauigkeitsgrad einer astronomischen Beobachtung an Bord ist mit ± 0′.62 anzusetzen. Sonnenhöhen verdienen den Vorzug, Vor- und Nachmittagsbeobachtungen leisten am meisten. Voraussetzung dafür ist, daß die Kimmtiefen gleichzeitig gemessen oder aber aus Temperaturmessungen abgeleitet werden. Einzuführen ist nach Möglichkeit eine mittlere Kimmtiefe, die aus mehreren über den Horizont verteilten Kimmtiefenmessungen zu ermitteln ist — die Sonnenkimm ist nicht einzubeziehen. Bei schnell ändernder Wetterlage kann eine Einzelmessung mehr leisten.

b) Es wurde ein neuartiges, für die praktische Nautik brauchbares Ausgleichverfahren eingeführt, das sich als besonders nützlich erwies.

c) Einen mittleren Tafelwert für Kimmtiefen zu verwenden, ist des starken Einflusses der senkrechten Temperaturverteilung wegen nicht angängig.

d) Für die Beziehung zur senkrechten Temperaturverteilung wurde eine Reihe von Kimmtiefenformeln abgeleitet. Eine überragende Rolle spielt der größte Temperaturgradient (Luft—Wasser). Wenn sich auch das Gefälle schon in den untersten Luftschichten zum großen Teil erschöpft, dürfen doch die höheren Schichten nicht außer Betracht bleiben. Die Auswahl der Seehöhe für die Temperaturmessung hängt von der Wetterlage ab. In der Regel genügt die Temperatur in Augeshöhe.

e) Die Luftfeuchtigkeit braucht nur zur Erzielung größtmöglicher Genauigkeit herangezogen zu werden. Dieser Einfluß, der 0′.6 nicht übersteigt, wurde formelmäßig dargestellt.

f) Temperaturmessung ist zur Ermittlung der Kimmtiefen direkter Messung ebenbürtig.

g) Ein täglicher Gang der Kimmtiefen — d. h. in umgekehrtem Sinn auch des Koeffizienten der Strahlenbrechung — mit einem mittäglichen Höchstwert von etwa 0′.3 bis 0′.5 wurde nachgewiesen.

h) Die hohe Bedeutung des verfälschenden Einflusses des Seegangs auf alle Beobachtungen über der Kimm wurde aufgezeigt.

i) Der Meßvorgang beim Kimmtiefenmesser nach Pulfrich wurde klargestellt und auf eine einfache Art der Bestimmung des Wertes eines Skalenteils angewandt.

k) Sämtliche Untersuchungen beruhen auf eigenen Beobachtungen, denen einige Kimmtiefenmessungen eines Hilfsbeobachters (etwa 40 Einzelwerte) eingefügt worden sind, die Besonderheiten nicht zeigten. Es sind verwertet worden: 551 Gestirnhöhen und 4740 einzelne Kimmtiefen.

2. Folgerungen und Ausblicke.

Ergänzend gehe ich noch auf einige wichtige Punkte kurz ein:

a) Die Fehlergrößen für astronomische Bordbeobachtungen können so, wie sie von mir angegeben sind, ohne weiteres auf die gehobene Nautik, nämlich für Vermessungs- und für wissenschaftliche Zwecke, übertragen werden. Für die nautische Praxis ist ein geringerer Genauigkeitsgrad ausreichend. Von Bedeutung ist hierbei die Frage der Auswertung. Voraussetzung war für uns, daß eingeschaltet und von Abrundungen erst in den Ergebnissen Gebrauch gemacht wurde.

Der Nautiker leitet seinen Schiffsort stets aus einer weit geringeren Zahl von Einzelhöhen ab, so daß die Azimutdifferenz, die für uns keinerlei Rolle spielte, beherrschend auftritt. Die Fülle unwägbarer Punkte auf diesem Gebiet auch nur einigermaßen erschöpfend zu behandeln, ist kaum möglich und würde auch zu weit führen.

b) Leitet man die Kimmtiefe aus Temperaturmessungen ab, so muß man wissen, daß man mit einem Höhenfehler von 0′.3 rechnen muß für jeden Grad Irrtum in der Temperaturdifferenz. Beobachtet man dagegen die Kimmtiefe unmittelbar, so ist allgemein eine Unsicherheit von 0′.3 bei tadelloser Kimmbeschaffenheit und sonst ungestörtem Witterungscharakter zu erwarten. Herrscht absonderliches Wetter, so kann die Messung der Kimm sicherer sein, doch tritt nicht selten auch beträchtliches Nachhinken der Kimmtiefe ein. Vorsicht ist geboten, wenn rasch wechselnde Temperaturanomalien von einigem Ausmaß die Wetterlage bestimmen.

Der Kimmtiefenmesser nach Pulfrich leistet nur dann etwas, wenn er pfleglich behandelt und vor Stoß usw. — auch geringster Art — bewahrt bleibt. Er muß, so oft es angeht, nachgeprüft werden. Dieser Punkt ist zu unterstreichen. Man muß sich darüber klar sein, daß es zur Zeit keinen praktisch gangbaren Weg für eine Nachprüfung an Bord gibt.

Ich fasse deshalb zusammen:

So, wie die Verhältnisse nun einmal liegen, ist der Seefahrer auf die Temperaturmessung angewiesen, die er praktisch in Augeshöhe vornimmt, möglichst frei vom Schiffskörper und in Luv. Als Gerät ist ein Aspirator oder besser ein Aßmannsches Aspirationspsychrometer zu verwenden. Die Wassertemperatur entnimmt man einer unverfälschten Wasserprobe an geschütztem Platz an Deck. Die Augeshöhe sollte man so niedrig als möglich wählen, damit der Weg des Kimmstrahles kurz wird. Dabei muß man aber die Höhe des Seeganges berücksichtigen.

c) Es ist erforderlich, die Verbesserung der Höhen wegen der Veränderlichkeit der Kimm mit der Temperatur in Tafelform in die „Nautischen Tafeln" wieder aufzunehmen. Der Koeffizient der Augeshöhe ist zu vergrößern, jetzt 1.779.

d) Da die Augeshöhen klein waren und der Bereich des Temperaturgradienten ziemlich eng war, kann den gefundenen Formeln quantitativ eine voll s e l b s t ä n d i g e Bedeutung für die Praxis, die es mit viel größeren Augeshöhen zu tun hat, nicht zuerkannt werden. Sie bilden jedoch eine wertvolle Ergänzung der Kohlschütterschen Ausdrücke, über deren unterste Bereichsgrenze (6 m) sie immerhin um rund 2 m hinaufreichen. Die bisher zum Studium der Kimmtiefen an Bord verwendeten Augeshöhen sind dagegen zum großen Teil überschritten worden. So liegt schon jetzt genügend Material vor, um eine brauchbare Tafel zu errechnen.

e) Andererseits ist es nicht zu umgehen, das ganze Problem durch weitere Bordbeobachtungen einer sicheren Lösung näherzubringen. Um eine endgültige Form zu finden, erscheinen Vergleichsmessungen zwischen dem Pulfrich-Gerät und landfesten Theodoliten unerläßlich. Ein solcher Versuch, den ich im Anschluß an die Beobachtungsperiode auf „Adlergrund II" auf der Greifswalder Oie unternahm, scheiterte daran, daß der von mir benutzte Theodolit in seiner Meßschärfe nicht hinreichte und daß es an Zeit mangelte. Das Seegebiet war für den vorliegenden Zweck auch denkbar ungeeignet. Soll den Messungen allgemeine Bedeutung zukommen, so müssen sie von dem Küsteneinfluß losgelöst und an einen allseitig von der See umspülten Platz verlegt werden. Die Beobachtungen würden darauf auszudehnen sein, den Verlauf des Kimmstrahles auf seinem ganzen Weg zu verfolgen, wie es Kohlschütter bereits 1903[1]) vorgeschlagen hat.

[1]) L. V. 5, S. 549.

Weitgehende Unterstützung durch die Marineleitung, das Institut für Meereskunde sowie durch das Hafenbauamt in Swinemünde ermöglichte die reibungslose Durchführung des umfangreichen Beobachtungsplanes; den Herren Ministerialrat Prof. Dr. Wedemeyer, Prof. Dr. A. Defant und Regierungsbaurat Berg bin ich zu großem Dank verpflichtet. Ganz besonders aber ist es mir ein Bedürfnis, meinen speziellen Mitarbeitern, die zum Gelingen beigetragen haben, und Frl. stud. phil. Ilse Conrad, die mir beim Sichten und Aufbereiten des Materials zur Hand ging, auch an dieser Stelle herzlich zu danken.

Literaturverzeichnis.

1. Spieß: Deutsche Atlantische Expedition auf „Meteor", I. Berlin 1932.
2. Handbuch für Küstenvermessungen. Berlin 1927.
3. Kimmtiefenmessungen an Bord von Schiffen der Reichsmarine. Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven. Berlin 1930.
4. K. Koß: Kimmtiefenbeobachtungen zu Veradulla. Wien 1900.
5. Kohlschütter: Folgerungen aus den Koßschen Kimmtiefenbeobachtungen zu Veradulla. Annalen der Hydrogr. u. marit. Meteorol. Dezember 1903.
6. Immler: Kimmtiefenmessungen. Annalen d. Hydrogr. u. m. M. Juli 1927.
7. Lehrbuch für den Unterricht in der Navigation an den Deckoffizierschulen. Berlin 1917.
8. Meldau-Breusings Steuermannskunst. Bremen 1924.
9. Przybyllok: Kimmtiefenmessungen auf der deutschen antarktischen Expedition. Aus den Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft. 1925.
10. K. Pulfrich: Über einen Apparat zur Messung der Kimmtiefe. Zeitschrift für Instrumentenkunde. Berlin 1904.
11. Handbuch der nautischen Instrumente. Berlin 1890.
12. L. L. Breitfuß: L'expédition scientifique pour l'exploration des pêcheries de la côte de Mouvinane, 1906. Petersburg 1915.
13. G. Wüst: Die Verdunstungen auf dem Meere. Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde, N. F. A. Berlin 1920.
14. O. Krümmel: Handbuch der Ozeanographie, II. Stuttgart 1911.
15. Müller-Pouillet: Lehrbuch der Physik, V. Braunschweig 1928.
16. F. Lingg: Über die bei Kimmbeobachtungen am Starnberger See wahrgenommenen Refraktionserscheinungen. Nova Acta Acad. Leopold, 1889.
17. I. B. Messerschmidt: Resultate neuerer Kimmtiefenbeobachtungen. Annalen der Hydrogr. usw. April 1911.
18. Nautisches Jahrbuch 1931.
19. Fulst-Breusing: Nautische Tafeln 1923.
20. Nautisches Jahrbuch 1906.
21. Jordan: Handbuch der Vermessungskunde, I, 4. Aufl.
22. Frhr. v. Schrötter: Irdische Strahlenbrechung in der Nautik. Annalen der Hydrogr. usw. April 1905.
23. Jordan: Handbuch der Vermessungskunde, II, 5. Aufl.
24. S. Ogura: On the Dip of the Sea Horizon, Hydrographic Bulletin, vol. 5. 1926.
25. K. Brehmer: Beitrag zur atmosphärischen Refraktion über Wasserflächen. Annalen der Hydrogr. usw. 1909.

Lebenslauf.

Ich, Fritz Conrad, wurde am 18. April 1883 als Sohn des Gymnasialprofessors Friedrich Conrad und seiner Ehefrau Marie, geb. Schulz zu Schwedt a. d. Oder in Brandenburg geboren. Ich besuchte das dortige Hohenzollerngymnasium und bestand Ostern 1901 die Reifeprüfung. Ich wurde Seeoffizier und kämpfte während des Weltkrieges an Bord verschiedener Schiffe und an der Front in Flandern. Nach dem Friedensschluß wurde ich in die Reichsmarine übernommen; im Herbst 1931 nahm ich meinen Abschied als Konteradmiral. Etwa 12 Jahre meiner Dienstzeit habe ich im Vermessungsdienst gestanden und dabei auf der Deutschen Seewarte in Hamburg, am Marineobservatorium in Wilhelmshaven und an der Universität in Kiel Gelegenheit zu astronomischen, erdmagnetischen und ozeanographischen Studien gehabt. In den Jahren 1918—1924 und 1931—1933 habe ich an den Universitäten in Kiel und Berlin und der Technischen Hochschule in Charlottenburg Naturwissenschaften studiert. Meine Fächer waren in Kiel: Astronomie, Geodäsie, Mathematik und Physik, und in Berlin: Geophysik (Ozeanographie, Meteorologie), Physik und Philosophie.

Zu besonderem Dank bin ich meinen Berliner Lehrern verpflichtet, den Herren Professoren:

Defant, Dessoir, Feigl, Hertz, E. Kohlschütter, König, H. Maier, E. Schmidt, Wedding und Wüst.